





الكيمياء

الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني



CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

الطبعة التجريبية 1444 هـ - 2022 م





الصف الحادي عشر

كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني - الجزء الثاني

الطبعة التجريبية 1444 هـ - 2022 م

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

مطبعة جامعة كامبريدج، الرمز البريدي CB2 8BS، المملكة المتحدة.

تشكل مطبعة جامعة كامبريدج جزءًا من الجامعة.
وللمطبعة دور في تعزيز رسالة الجامعة من خلال نشر المعرفة، سعيًا وراء
تحقيق التعليم والتعلم وتوفير أدوات البحث على أعلى مستويات التميز العالمية.



الطبعة التجريبية ٢٠٢٢ م، طُبعت في سلطنة عُمان

هذه نسخة تمَّت مواءمتها من كتاب الطالب – الكيمياء للصف الحادي عشر – من سلسلة كامبريدج للكيمياء
لمستوى الدبلوم العام والمستوى المتقدم AS & A Level للمؤلفين لوري ريان، وروجر نوريس

تمت مواءمة هذا الكتاب بناءً على العقد الموقع بين وزارة التربية والتعليم ومطبعة
جامعة كامبريدج.

تمت مواءمة الكتاب

بموجب القرار الوزاري رقم ٢٠٢٢/١٢١ واللجان المنبثقة عنه





المغفور لـه

السلطان قابوس بن سعيد

-طيّب اللّه ثراه-



حضرة صاحب الجلالـة

السلطان هيثم بن طارق المعظم

-حفظه اللّه ورعاه-


مدونه
سلطنة عمان
التعليمية

سلطنـــــة عُمـــــان

(المحافظات والولايات)




مدونه
سلطنة عمان
التعليمية





النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لَنا — جَلالَةَ السُّلْطان

وَالشَّعْبَ في الأَوْطان — بِالْعِزِّ والأَمان

وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا — عاهِلًا مُمَجَّدًا

بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي — أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ

فَارْتَقي هامَ السَّماء — وَامْلَئي الْكَوْنَ الضِّياء

وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء


مدونه
سلطنة عمان
التعليمية

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيّدنا مُحمَّد، وعلى آله وصحبه أجمعين. وبعد:

فقد حرصت وزارة التربية والتعليم على تطوير المنظومة التعليمية في جوانبها ومجالاتها المختلفة كافة؛ لتُلبّي مُتطلّبات المجتمع الحالية، وتطلُّعاته المستقبلية، ولتتواكب مع المُستجدّات العالمية في اقتصاد المعرفة، والعلوم الحياتية المختلفة؛ بما يؤدّي إلى تمكين المخرجات التعليمية من المشاركة في مجالات التنمية الشاملة للسلطنة.

وقد حظيت المناهج الدراسية، باعتبارها مكوِّنًا أساسيًا من مكوِّنات المنظومة التعليمية، بمراجعة مستمرة وتطوير شامل في نواحيها المختلفة؛ بدءًا من المقرّرات الدراسية، وطرائق التدريس، وأساليب التقويم وغيرها؛ وذلك لتتناسب مع الرؤية المستقبلية للتعليم في السلطنة، ولتتوافق مع فلسفته وأهدافه.

وقد أولت الوزارة مجال تدريس العلوم والرياضيات اهتمامًا كبيرًا يتلاءم مع مستجدات التطور العلمي والتكنولوجي والمعرفي. ومن هذا المنطلق اتَّجهت إلى الاستفادة من الخبرات الدولية؛ اتساقًا مع التطوُّر المتسارع في هذا المجال، من خلال تبنّي مشروع السلاسل العالمية في تدريس هاتَين المادّتَين وفق المعايير الدولية؛ من أجل تنمية مهارات البحث والتقصّي والاستنتاج لدى الطلبة، وتعميق فهمهم للظواهر العلمية المختلفة، وتطوير قدراتهم التنافُسية في المسابقات العلمية والمعرفية، وتحقيق نتائج أفضل في الدراسات الدولية.

إن هذا الكتاب، بما يحويه من معارف ومهارات وقيَم واتجاهات، جاء مُحقِّقًا لأهداف التعليم في السلطنة، وموائمًا للبيئة العمانية، والخصوصية الثقافية للبلد، بما يتضمَّنه من أنشطة وصور ورسوم. وهو أحد مصادر المعرفة الداعمة لتعلُّم الطالب، بالإضافة إلى غيره من المصادر المختلفة.

نتمنّى لأبنائنا الطلبة النجاح، ولزملائنا المعلّمين التوفيق فيما يبذلونه من جهود مُخلِصة، لتحقيق أهداف الرسالة التربوية السامية؛ خدمة لهذا الوطن العزيز، تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظّم، حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيرة التربية والتعليم


مدونه
سلطنة عمان
التعليمية

المحتويات

كيف تستخدم هذه السلسلة

تقدّم هذه المكوّنات (أو المصادر) الدعم للطلبة في الصف الحادي عشر في سلطنة عمان لتعلم مادة الكيمياء واستيعابها، حيث تعمل كتب هذه السلسلة جميعها معًا لمساعدة الطلبة على تطوير المعرفة والمهارات العلمية اللازمة لهذه المادة. كما تقدّم الدعم للمعلمين لإيصال هذه المعارف للطلبة وتمكينهم من مهارات الاستقصاء العلمي.





يقدّم «كتاب الطالب» دعمًا شاملًا لمنهج الكيمياء للصف الحادي عشر في سلطنة عمان، ويقدّم شرحًا للحقائق والمفاهيم والتقنيات العلمية بوضوح، كما يستخدم أمثلة من العالم الواقعي للمبادئ العلمية. والأسئلة التي تتضمنها كل وحدة تساعد على تطوير فهم الطلبة للمحتوى، في حين أن الأسئلة الموجودة في نهاية كل وحدة تحقق لهم مزيدًا من التطبيقات العلمية الأساسية.



يحتوي «كتاب التجارب العملية والأنشطة» على أنشطة وأسئلة نهاية الوحدة، والتي تمّ اختيارها بعناية، بهدف مساعدة الطلبة على تطوير المهارات المختلفة التي يحتاجون إليها أثناء تقدمهم في دراسة كتاب الكيمياء. كما تساعد هذه الأسئلة الطلبة على تطوير فهمهم لمعنى الأفعال الإجرائية المستخدمة في الأسئلة، إضافة إلى دعمهم في الإجابة عن الأسئلة بشكل مناسب.

كما يحقّق هذا الكتاب للطلبة الدعم الكامل الذي سوف يساعدهم على تطوير مهارات الاستقصاء العملية الأساسية جميعها. وتشمل هذا المهارات تخطيط الاستقصاءات، واختيار الجهاز وكيفية التعامل معه، وطرح الفرضيات، وتدوين النتائج وعرضها، وتحليل البيانات وتقييمها.



يدعم دليل المعلم «كتاب الطالب» و«كتاب التجارب العملية والأنشطة»، ويعزز الأسئلة والمهارات العملية الموجودة فيهما. ويتضمّن هذا الدليل أفكارًا تفصيلية للتدريس وإجابات عن كل سؤال ونشاط وارد في «كتاب الطالب» وفي «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، فضلًا عن الإرشادات التعليمية لكل موضوع، بما في ذلك خطة التدريس المقترحة، وأفكار للتعلم النشط والتقويم التكويني، والمصادر المرتبطة بالموضوع، والأنشطة التمهيدية، والتعليم المتمايز (تفريد التعليم) والمفاهيم الخاطئة وسوء الفهم. كما يتضمن أيضًا دعمًا مفصلًا لإجراء الاستقصاءات العملية وتنفيذها في «كتاب التجارب العملية والأنشطة»، بما في ذلك فقرات «مهم» لجعل الأمور تسير بشكل جيد، إضافة إلى مجموعة من عينات النتائج التي يمكن استخدامها إذا لم يتمكن الطلبة من إجراء التجربة، أو أخفقوا في جمع النتائج النموذجية.



كيف تستخدم هذا الكتاب

خلال دراستك هذا الكتاب، ستلاحظ الكثير من الميزات المختلفة التي ستساعدك في التعلم. هذه الميزات موضحة على النحو الآتي:

أهداف التعلّم

تُمثّل هذه الأهداف مضمون كل وحدة دراسية، وتساعد على إرشاد الطلبة خلال دراسة «كتاب الطالب»، كما تشير إلى المفاهيم المهمة المطروحة في كل موضوع، ويتم التركيز عليها عند تقويم الطالب.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

تحتوي هذه الميزة على أسئلة وأنشطة تتمحور حول المعرفة القبلية للموضوعات التي ستحتاج إليها قبل البدء بدراسة الوحدة.

العلوم ضمن سياقها

تُقدّم هذه الميزة أمثلة وتطبيقات واقعية للمحتوى الموجود في كل وحدة دراسية، ما يعني أنها تشجع الطلبة على إجراء المزيد من البحث في الموضوعات المختلفة.

مهارات عملية

لا يحتوي هذا الجزء من الكتاب على تعليمات مفصلة لإجراء تجارب معيّنة، لكنك ستجد، في مربّعات النص هذه، توجيهات أساسية حول المهارات المخبرية التي تحتاج إلى تطبيقها.

أسئلة

يتخلّل النص أسئلة تمنحك فرصة للتحقق من أنك قد فهمت الموضوع الذي قرأت عنه.

أمثلة

تحتوي على أمثلة محلولة توضّح كيفية استخدام صيغة رياضية معيّنة لإجراء عملية حسابية.

مصطلحات علمية

يتم تمييز المصطلحات الأساسية في النص عند تقديمها لأول مرة. ثم يتم تقديم تعريفات لها في الهامش تشرح معاني هذه المصطلحات.

أفعال إجرائية

لقد تمّ إبراز الأفعال الإجرائية الواردة في المنهج الدراسي بلون غامق في أسئلة نهاية الوحدة، ويمكن استخدامها في الاختبارات، خصوصًا عندما يتم تقديمها للمرة الأولى. وستجد في الهامش تعريفًا لها.

مهمّ

يتم في مربّعات النص هذه إدراج حقائق وإرشادات مهمّة للطلبة.

ملخّص

تحتوي مربّعات النص هذه على ملخّص للنقاط الرئيسية في نهاية كل وحدة.

أسئلة نهاية الوحدة

تقيس هذه الأسئلة مدى تحقّق الأهداف التعليمية في الوحدة، وقد يتطلب بعضها استخدام معارف علمية من وحدات سابقة. تتوافر إجابات هذه الأسئلة في دليل المعلم.

قائمة تقييم ذاتي

تلي الملخّص عبارات تتضمّن عناوين منها: «أستطيع أن» التي تتطابق مع أهداف التعلم الموجودة في بداية الوحدة؛ و «أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد»، أو «متمكّن إلى حدٍّ ما» اللتَين تشيران إلى وجوب مراجعة ما تراه ضروريًا في هذا المجال. وقد تجد أنه من المفيد تقييم مدى ثقتك بكل من هذه العبارات أثناء عملية المراجعة.

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدًّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا

المقدمة

يغطي هذا الكتاب الفصل الدراسي الثاني من منهج سلطنة عمان للكيمياء للصف الحادي عشر.

تتمثل الأهداف الرئيسية لأي كتاب مدرسي، كهذا الكتاب، في شرح المفاهيم المختلفة للكيمياء التي تحتاج إلى فهمها، وفي تزويدك بالأسئلة التي ستساعدك على اختبار فهمك، وفي تطوير المهارات الأساسية اللازمة للنجاح في هذا الصف الدراسي. كما توضح صفحات «كيف تستخدم هذا الكتاب» بنية كل وحدة وميزات هذا الكتاب.

خلال دراستك مادة الكيمياء، ستجد أن بعض المفاهيم الأساسية قد تتكرر، وأن هذه المفاهيم تشكل «موضوعات» مترابطة لكافة مجالات الكيمياء المختلفة. وسوف تمضي قدمًا في دراستها بتعمّق أكثر، بذلك ستكتسب المزيد من الثقة في فهم مادة الكيمياء إذا تعمّقت في هذه الموضوعات. ويشمل هذا الكتاب المفاهيم الأساسية الآتية:

- الذرات والقوى
- التجارب والأدلة والبراهين
- أنماط التدرج الكيميائي والتفاعلات
- الروابط الكيميائية
- التغيرات في مستويات الطاقة

تُعدّ دراسة الكيمياء تجربة محفّزة وجديرة بالاهتمام؛ فالكيمياء شأن عام، ولا يمكن لدولة أن تتفرّد فيه أو أن تحتكر التطوّر وتحصره في موضوعاتها. كما تُعدّ دراسة الكيمياء تدريبًا مفيدًا لاكتشاف كيف أسهم مختلف العلماء في تطوير معرفتنا ورفاهيتنا، وذلك من خلال أبحاثهم التي أجروها في مفاهيم الكيمياء وتطبيقها.

نأمل ألّا يساعدك هذا الكتاب على النجاح في دراساتك ومهنتك المستقبلية فحسب، بل أن يحفّز فضولك وخيالك العلمي أيضًا؛ فقد يصبح طلبة اليوم من العلماء والمهندسين المبدعين غدًا. كما نأمل أن تكون التجارب التي أجراها الكيميائيون في الماضي درجة من درجات سلّم التطوّر، فنمضي بالكيمياء قدمًا نحو مستويات أعلى وأرقى.

الوحدة الثامنة

مبادئ الكيمياء العضوية

Principles of Organic Chemistry

أهداف التعلم

٨-١ يستنتج الصيغة الجزيئية والصيغة الأولية للمركب، استنادًا إلى صيغته البنائية والبنائية الموسّعة أو الهيكلية والتي تقتصر على السلاسل المتجانسة الموضحة في الجدول ٨-١.

٨-٢ يفهم تمثيل المركبات العضوية ويستخدمه، بما في ذلك التمثيل ثنائي الأبعاد 2D، وثلاثي الأبعاد 3D، ودمج التمثيلين معًا للسلاسل المتجانسة الموضحة في الجدول ٨-١.

٨-٣ يستخدم الصيغة الكيميائية العامة للسلاسل المتجانسة المدرجة في الجدول ٨-١.

٨-٤ يفهم طريقة التسمية النظامية الايوباك (IUPAC) للمركبات العضوية الأليفاتية البسيطة ذات المجموعات الوظيفية الموضحة في الجدول ٨-١ حتى عشر ذرات كربون في السلسلة، ويستخدمها.

٨-٥ يصف زوايا الروابط وأشكال الجزيئات العضوية من حيث أفلاكها الذرية المهجنة sp، و sp^2، و sp^3 وروابط سيجما (σ) وروابط باي (π) التي توجد بين ذراتها ويشرحها.

٨-٦ يصف التشاكل (التصاوغ) البنائي وتقسيماته إلى
- تشاكل موقع المجموعة الوظيفية:
- تشاكل نوع المجموعة الوظيفية
- تشاكل السلسلة الكربونية

٨-٧ يصف التشاكل (التصاوغ) الفراغي stereoisomerism وتقسيماته إلى:
- تشاكل هندسي: (سيس cis) و(ترانس trans)، (E) و (Z) للمركّبات غير المشبعة.
- التشاكل الضوئي (البصري) enantiomers للمركّبات التي تحتوي على مركز كيرالي (chiral) (غير متناظر).

٨-٨ يعرّف المصطلحات الآتية المرتبطة في التفاعلات العضوية وآلياتها ويستخدمها:
- الانشطار (التكسر أو التفكك) المتجانس وغير المتجانس.
- الجذور الحرة، الابتداء، الانتشار، الإيقاف.
- النيوكليوفيل (محبّ النواة أو الشحنات الموجبة)، والإلكتروفيل (محبّ الإلكترونات أو الشحنات السالبة)
- الإضافة، الاستبدال (الإحلال)، الإزالة (الحذف) التحلل المائي، الأكسدة، الاختزال.

الاسم	الصيغة البنائية (الموسّعة)	الصيغة الهيكلية	الصيغة البنائية للمجموعة الوظيفية	اسم المجموعة الوظيفية	السلاسل المتجانسة
بروبان	H–C(H)(H)–C(H)(H)–C(H)(H)–H		لا يوجد	لا يوجد	ألكان
بروبين	H–C(H)(H)–C(H)=C(H)–H		R₂C=CR₂	رابطة C=C	ألكين
1-كلوروبروبان (تمثل X الكلور) 1-برومو بروبان (تمثل X البروم)	H–C(H)(H)–C(H)(H)–C(X)(H)–H	X	R—X	هالوجين	هالوجينوألكان (أولي، ثانوي، ثالثي)
1-بروبانول	H–C(H)(H)–C(H)(H)–C(H)(H)–O–H	OH	R—OH	هيدروكسيل	كحول (أولي، ثانوي، ثالثي)

الجدول ٨-١ الصيغ الكيميائية العامة لبعض المركبات العضوية.
تشير الرموز في صيغ المركبات العضوية إلى:
X لتمثيل ذرة هالوجين، R وR' لتمثيل مجموعات ألكيل (أو ذرة هيدروجين في بعض الحالات)، ويمكن أن تكون R وR' متماثلتَين أو مختلفتَين وفقًا للجزيء.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

١. ناقش مع زملائك أنواع الذرات التي تكوّن روابط تساهمية (الفلزات أو اللافلزات)، ثم ارسم مخطط التمثيل النقطي لجزيء ثاني أكسيد الكربون (CO_2).

٢. ارسم شكل جزيء الميثان (CH_4)، واكتب قيم زوايا الروابط H—C—H في الجزيء.

٣. فكّر مع زملائك في إيجاد رسم كاريكاتير يوضح معنى السالبية الكهربائية.

٤. حدد الجملتين الصحيحتين اللتين تتعلقان بجزيء الإيثين (C_2H_4):

أ. يحتوي على رابطة سيجما (σ) واحدة وخمس روابط باي (π).

ب. يحتوي على خمس روابط سيجما (σ) ورابطة باي (π) واحدة.

ج. يكون تهجين ثلاثة من الأفلاك الذرية لكل ذرة كربون من نوع sp^2.

د. يكون تهجين الأفلاك الذرية الأربعة لكل ذرة كربون من نوع sp^3.

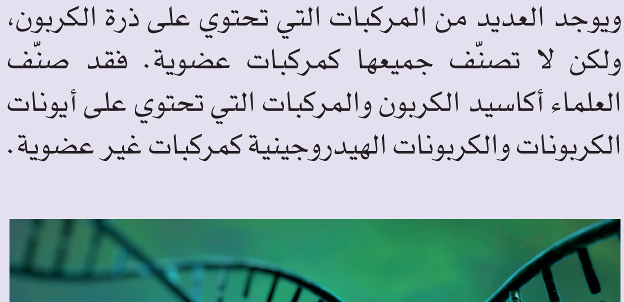


العلوم ضمن سياقها

جزيئات الحياة

تتكوّن الكائنات الحية من ذرات مرتبطة فيما بينها بروابط تساهمية لتكوين جزيئات المركبات العضوية. وتعد مركبات الكربون أساس المخلوقات الحية جميعها، إذ تشكل ذرات الكربون العمود الفقري للمركبات العضوية في الكائنات الحية من البروتينات الموجودة في العضلات والإنزيمات وصولاً إلى الـ DNA (الصورة ٨-١) الذي يحدد الصفات المميزة للكائنات جميعها.

وتستطيع ذرة الكربون تكوين مجموعة ضخمة ومتنوعة من المركبات المختلفة، ذلك لأن كل ذرة كربون تستطيع أن تكوّن أربع روابط تساهمية وترتبط بذرات كربون أخرى لتكوين سلاسل وحلقات. وغالبًا ما تكون هذه السلاسل والحلقات مرتبطة بذرات عناصر أخرى، مثل الهيدروجين والأكسجين والنيتروجين. وهذا ما يفسر وجود ملايين المركبات العضوية.



ويوجد العديد من المركبات التي تحتوي على ذرة الكربون، ولكن لا تصنّف جميعها كمركبات عضوية. فقد صنّف العلماء أكاسيد الكربون والمركبات التي تحتوي على أيونات الكربونات والكربونات الهيدروجينية كمركبات غير عضوية.



الصورة ٨-١ الحمض النووي DNA.

٨-١ تمثيل الجزيئات العضوية

درست أن المركبات العضوية تتكوّن أساسًا من عنصري الكربون والهيدروجين. حيث يرتبط الكربون دائمًا بأربع روابط تساهمية، في حين يرتبط الهيدورجين برابطة تساهمية واحدة فقط. وتكوّن العناصر الأخرى الموجودة في هذه المركبات أيضًا روابط تساهمية، يمكن توقّع عددها من رقم مجموعتها في الجدول الدوري فمثلًا: يكوّن الأكسجين رابطتَين، ويكوّن الكلور رابطة واحدة. وقد تمّ إدراج العناصر الشائعة التي نجدها في الكيمياء العضوية وعدد الروابط التي تكوّنها وألوان الكرات المستخدمة لتمثيلها في النماذج الجزيئية في الجدول (٨-٢).

اسم ذرة العنصر	عدد الروابط التساهمية المتكونة	لون الكرة المستخدمة في النماذج
الهيدروجين	1	أبيض
الكربون	4	أسود أو رمادي غامق
الأكسجين	2	أحمر
النيتروجين	3	أزرق
الفلور	1	أصفر مخضر
الكلور	1	أخضر
البروم	1	برتقالي مائل إلى البنّي
اليود	1	أرجواني

الجدول ٨-٢ عدد الروابط التي تكوّنها بعض العناصر الشائعة في المركبات العضوية، وألوان الكرات المستخدمة لتمثيلها في النماذج الجزيئية.

ويوضح الجدول (٨-٣) نوعين من النماذج للتمثيل ثلاثي الأبعاد 3D للجزيئات. النوع الأول هو الكرات والعصي، والنوع الثاني هو النموذج الفراغي الممتلئ. وتسمى المركبات الموضحة في الجدول بهيدروكربونات، وهي مركبات تتكوّن من الكربون والهيدروجين فقط.

الاسم والصيغة الجزيئية للمركب	الصيغة البنائية الموسعة	التمثيل ثلاثي الأبعاد	
		نموذج الكرات والعصي	النموذج الفراغي الممتلئ
ميثان (CH_4)	H H–C–H H		
إيثان (C_2H_6)	H H H–C–C–H H H		
إيثين (C_2H_4)	H H C=C H H		
بروبين (C_3H_6)	H H C=C–C–H H H H		
أوكتان (C_8H_{18})	H H H H H H H H H–C–C–C–C–C–C–C–C–H H H H H H H H H		

الجدول ٨-٣ أمثلة عن أنواع مختلفة من تمثيلات الهيدروكربونات.

ويمكن تمثيل الجزيئات العضوية باستخدام أنواع مختلفة من الصيغ، كما هو موضح فيما يلي:

١. **الصيغة الأولية**: توضح أبسط نسبة عددية صحيحة لأنواع الذرات المختلفة الموجودة في الجزيء. فعلى سبيل المثال، يمتلك البروبين الصيغة الأولية (CH_2). وهي تفيد أن هذا المركب يحتوي على عدد ذرات هيدروجين يعادل ضعفي عدد ذرات الكربون في جزيئاته.

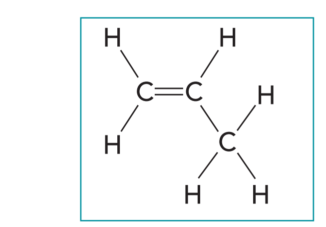
٢. **الصيغة الجزيئية**: توضح العدد الفعلي لكل نوع من الذرات الموجودة في الجزيء. ولإيجاد هذه الصيغة يجب معرفة الكتلة الجزيئية النسبية للمركب، فعلى سبيل المثال، الكتلة الجزيئية للبروبين تساوي 42 g/mol. ونحن نعرف أن صيغته الأولية هي (CH_2)، تمتلك كتلة نسبية تساوي 14 g/mol، وبقسمة الكتلة الجزيئية النسبية للمركب على الكتلة النسبية للصيغة الأولية سنلاحظ أنه يجب أن يكون هناك ($3 \times CH_2$) من الذرات في جزيء البروبين. لذا، فإن صيغته الجزيئية هي (C_3H_6). (راجع الوحدة الثانية، الموضوع ٢-١).

٣. **الصيغة البنائية** Structural formula هي صيغة تبيّن نوع الذرات وعددها وطريقة ارتباطها مع بعضها في الجزيء. فمثلًا، الصيغة البنائية للبروبين يمكن كتابتها بالصورة $CH_3HC{=}CH_2$ أو الصورة $CH_3CH = CH_2$.

كما توضح أيضًا أن اثنتَين من ذرات الكربون الموجودة في الجزيء مرتبطتان فيما بينهما برابطة ثنائية.

٤. **الصيغة الموسعة** Displayed formula هي الصيغة التي توضح جميع الروابط الموجودة في الجزيء، ويكون هذا التمثيل في هيئة ثنائية الأبعاد (2D)، ويوضح الشكل (٨-١) الصيغة الموسعة للبروبين.

٥. **الصيغة الهيكلية** Skeletal formula هي الصيغة التي تتم فيها إزالة رموز ذرات الكربون والهيدروجين جميعها، بالإضافة إلى إزالة الروابط بين ذرات الكربون والهيدروجين. وقد تُركت الروابط بين ذرات الكربون كما هي. ويوضح الشكل (٨-٢) الصيغة الهيكلية للبروبين.



الشكل ٨-١ الصيغة الموسعة للبروبين.

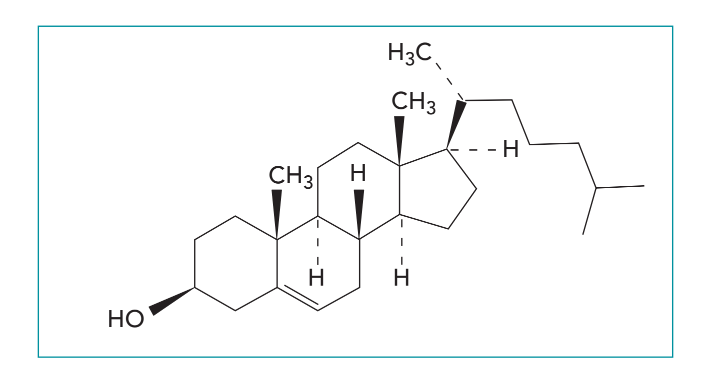
الشكل ٨-٢ الصيغة الهيكلية للبروبين.

أمّا الذرات الأخرى جميعها، غير الكربون والهيدروجين وروابطها، فتبقى مدرجة في الصيغة الهيكلية للجزيء العضوي. يوضح الجدول (٨-٤) صيغًا متنوّعة لتمثيل الكحول المسمى 2-بيوتانول. لاحظ أن الصيغة الهيكلية تتضمّن ذرة H الموجودة في المجموعة OH-.

ويمكن تمثيل الجزيئات المعقدة بدمج التمثيلات 2D و 3D، كما هو موضح في الشكل (٨-٣) لجزيء الكوليسترول.

الاسم	2-بيوتانول
الصيغة الجزيئية	$C_4H_{10}O$
الصيغة البنائية	$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$
الصيغة الموسعة	H H O H H H—C—C—C—C—H H H H H
الصيغة الهيكلية	OH

الجدول ٨-٤ الصيغة الجزيئية والبنائية والموسعة والهيكلية لـ2 - بيوتانول.



الشكل ٨-٣ يوضح دمج الصيغ البنائية والهيكلية ثلاثية الأبعاد لتمثيل جزيء الكولسترول.

مهمّ

تذكر أنه في التمثيل ثلاثي الأبعاد (3D) تمثّل الخطوط المتصلة الروابط الموجودة في مستوى الورقة، وتمثّل الخطوط المتقطعة الروابط التي تقع أسفل مستوى الورقة؛ أمّا الخطوط ذات الحواف فتمثّل الروابط التي تقع فوق مستوى الورقة.

مصطلحات علمية

الصيغة البنائية Structural formula: الصيغة التي تبيّن عدد الذرات ورموزها، وطريقة ارتباطها مع بعض في جزيء عضوي.

الصيغة الموسعة Displayed formula: تمثيل ثنائي الأبعاد (2D) لجزيء عضوي، يوضح جميع الذرات (بوساطة الرموز) والروابط (بوساطة خطوط قصيرة أحادية، أو ثنائية، أو ثلاثية بين الرموز).

الصيغة الهيكلية Skeletal formula: صيغة موسعة تمّت فيها إزالة رموز ذرات الكربون (C) والهيدروجين (H) والروابط (C–H) جميعها.

سؤال

١ **أ.** مركب هيدروكربوني يحتوي على 0.72 g من الكربون، و 0.18 g من الهيدروجين، ووجد أن كتلته المولية تساوي 30 g/mol . استنتج ما يلي:

١. صيغته الأولية.

٢. صيغته الجزيئية.

ب. ارسم الصيغة الموسعة لكل من:

١. الإيثين (صيغته الجزيئية (C_2H_4)).

٢. البروبان (صيغته الجزيئية (C_3H_8)).

ج. استنتج الصيغة الأولية من الصيغتَين الموسّعتَين للمركبَين الوارِدَين في الجزئية **ب**.

د. إذا علمت أن الصيغة الجزيئية للبنتان هي (C_5H_{12}):

١. ارسم صيغته الهيكلية.

٢. استنتج صيغته الأولية.

٨-٢ تسمية المركبات العضوية

السلاسل المتجانسة

درست في الصف العاشر أن **السلسلة المتجانسة** **Homologous series** هي مجموعة من المركبات العضوية التي تمتلك **الصيغة العامة** **General formula** نفسها فضلًا عن خصائص كيميائية متماثلة، الجدول (٨-٥).

السلسلة المتجانسة	اسم المثال، وصيغته البنائية	الصيغة الهيكلية
الألكينات	$CH_3CH{=}CHCH_3$ 2-بيوتين	
الهالوجينوألكانات	$CH_3CHClCH_3$ 2-كلورو بروبان	Cl
الكحولات	$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$ 1-بيوتانول	OH

الجدول ٨-٥ الصيغ البنائية والهيكلية لسلاسل متجانسة شائعة.

وباستثناء **الألكانات** **Alkanes**، تتميّز كل سلسلة متجانسة بأن مركباتها جميعها تتكوّن من جزيئات تمتلك ذرة معيّنة أو مجموعة من الذرات تسمى **مجموعة وظيفية** **Functional group**. وتحدد المجموعة الوظيفية الخصائص الكيميائية المميزة للمركبات التي تحتوي عليها. ونجد المجموعات الوظيفية في سلاسل متجانسة مثل **الألكينات** **Alkenes** و**الكحولات** **Alcohols** و**الهالوجينوألكانات** **Halogenoalkanes** المبينة في الجدول (٨-٦).

فعلى سبيل المثال، المجموعة الوظيفية في الألكين هي الرابطة الثنائية C=C، والمجموعة الوظيفية في الكحولات هي مجموعة OH–. وقد تمّ إدراج الصيغة العامة لبعض السلاسل المتجانسة للمركبات في الجدول (٨-٦).

السلسلة المتجانسة وبنية مجموعتها الوظيفية	الصيغة العامة للسلسلة المتجانسة	مثال على السلسلة المتجانسة	الصيغة البنائية للمثال
الألكينات $R_2C{=}CR_2$ حيث إن R تمثل: H أو مجموعة الألكيل	C_nH_{2n}	الإيثين	$CH_2{=}CH_2$
الهالوجينوألكانات R-X حيث إن X تمثل: F، Cl، Br، I	$C_nH_{2n+1}X$	الكلوروميثان	CH_3Cl
الكحولات R—OH	$C_nH_{2n+1}OH$	الميثانول	CH_3OH

الجدول ٨-٦ بعض السلاسل المتجانسة لمركبات عضوية، ومجموعاتها الوظيفية.

مهمّ

عند التعويض عن قيمة n في الصيغة العامة لسلسلة متجانسة، تحصل على الصيغة الجزيئية لمركب معيّن يحتوي على تلك المجموعة الوظيفية المميزة لهذه السلسلة. تذكر أن كل جزيء في السلسلة المتجانسة الواحدة يحتوي على مجموعة وظيفية واحدة فقط.

مصطلحات علمية

السلاسل المتجانسة Homologous series: هي مجموعة من المركبات العضوية التي تمتلك المجموعة الوظيفية والصيغة العامة نفسَيهما، وتمتلك خصائص كيميائية متشابهة.

المجموعة الوظيفية Functional group: هي ذرة أو مجموعة من الذرات توجد في جزيء عضوي وتحدد الخصائص الكيميائية المميزة له.

الصيغة العامة General furmula: هي صيغة كيميائية تنطبق على جميع مركبات السلسلة المتجانسة ويمكن استخدامها للتنبؤ بالصيغة الجزيئية للمركب.

الألكانات Alkanes: هيدروكربونات مشبعة تمتلك الصيغة العامة C_nH_{2n+2}.

الألكينات Alkenes: هيدروكربونات غير مشبعة تمتلك الرابطة الثنائية C=C والصيغة العامة C_nH_{2n}.

الكحولات Alcohols: مركبات تمتلك سلسلة هيدروكربونية مرتبطة بالمجموعة الوظيفية ‎-OH.

هالوجينوألكانات Halogenoalkanes: سلسلة متجانسة حيث تم استبدال ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر في ألكان بذرة هالوجين واحدة أو أكثر. وتمتلك الهالوجينوألكانات الأبسط الصيغة العامة $C_nH_{2n+1}X$، والمجموعة الوظيفية C–X (حيث إن X تمثل F أو Cl أو Br أو I).

التسمية (تسمية المركبات العضوية)

تمتلك المركبات العضوية سلاسل خطية، أو متفرعة، أو تراكيب حلقية تُعرف **بالمركبات الأليفاتية Aliphatic compounds** وتعتمد تسمية هذه المركبات على عدد ذرات الكربون في المركب. ويوضح الجدول (٨-٧) أسماء الألكانات العشرة الأولى، والبادئات المستخدمة في تسميتها.

مصطلحات علمية

المركبات الأليفاتية Aliphatic compounds: مركبات عضوية ذات سلاسل خطية أو متفرعة أو تراكيب حلقية.

عدد ذرات الكربون	البادئة المستخدمة في التسمية	الصيغة الجزيئية للألكان ذي السلسلة الخطية	اسم الألكان
1	ميث	CH_4	ميثان
2	إيث	C_2H_6	إيثان
3	بروب	C_3H_8	بروبان
4	بيوت	C_4H_{10}	بيوتان
5	بنت	C_5H_{12}	بنتان
6	هكس	C_6H_{14}	هكسان
7	هبت	C_7H_{16}	هبتان
8	أوكت	C_8H_{18}	أوكتان
9	نون	C_9H_{20}	نونان
10	ديك	$C_{10}H_{22}$	ديكان

الجدول ٨-٧ البادئات المستخدمة في تسمية المركبات العضوية الأليفاتية البسيطة.

مصطلحات علمية

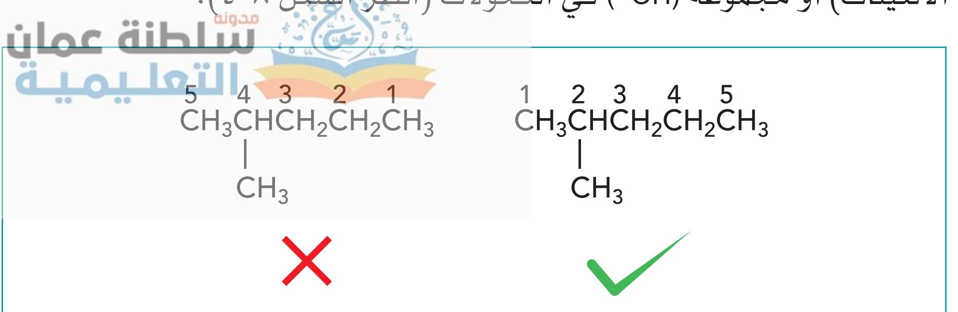
مجموعة الألكيل
Alkyl group:
هيدروكربون متفرع يأتي مع السلسلة الرئيسية لمركب عضوي وتنقصه ذرة هيدروجين مقارنة بالألكان المطابق له.

خطوات تسمية المركبات العضوية وفق نظام IUPAC

ولتسمية المركبات العضوية يتم اتباع نظام مطبق بشكل منهجي والذي أنشأه الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية IUPAC وذلك وفق الخطوات الآتية:

١. اختر أطول سلسلة كربونية متصلة في الجزيء.

٢. رقّم ذرات الكربون في السلسلة الأطول مع البدء من الطرف الأقرب للتفرع (**مجموعة ألكيل Alkyl group**) أو المجموعة الوظيفية (مثال الرابطة الثنائية في الألكينات) أو مجموعة (OH−) في الكحولات (انظر الشكل ٨-٤).



الشكل ٨-٤ الطريقة الصحيحة لترقيم السلسلة الكربونية.

٣. اكتب اسم المركب كما يلي:

أ. اسم السلسلة (البادئة): أعط اسمًا للسلسلة وفق عدد ذرات الكربون في السلسلة الأطول (انظر الجدول (٨-٧)).

ب. الجزء الأخير من الاسم (اللاحقة أو suffix): تحدد اللاحقة وفق نوع السلسلة المتجانسة التي ينتمي إليها المركب المسمى؛

- إذا كان في السلسلة رابطة ثنائية فاستبدل الجزء الأخير من الاسم (اللاحقة أو suffix) والتي هي «آن» بـ «ين».
- إذا كان في السلسلة المجموعة الوظيفية OH- فاستبدل الجزء الأخير من الاسم (اللاحقة أو suffix) والتي هي «آن» بـ «آنول».
- ابدأ الترقيم من الطرف الأقرب للمجموعة الوظيفية لكي تحصل على أصغر رقم.
- يكتب الرقم المعطى للمجموعة الوظيفية في بداية اسم الجزيء مع وضع شرطة بينه وبين الاسم.

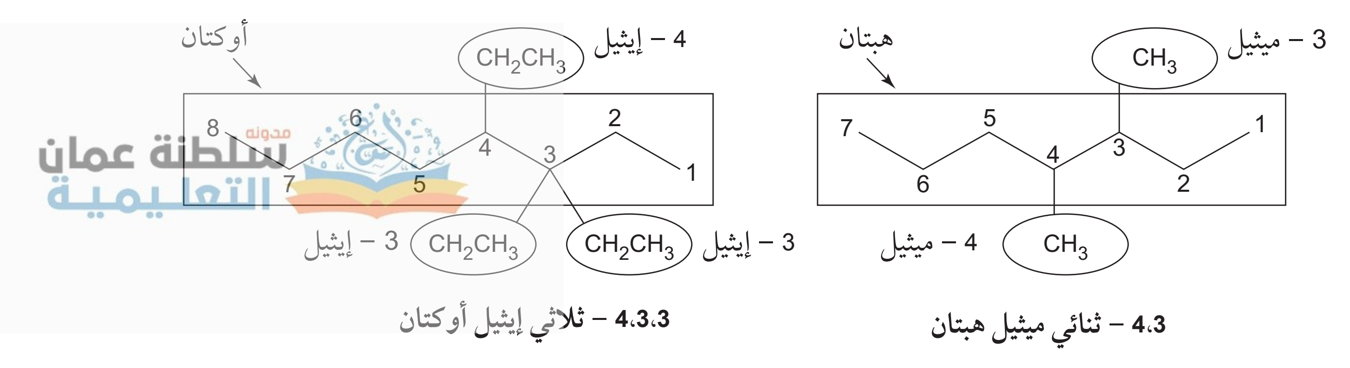
ج. السلاسل المتفرعة: ابدأ التسمية باسم الألكيل المتفرع (مثال: ميثيل، إيثيل...) أو الهالوجين المتفرع (مثال: كلورو، برومو...) مسبوقًا برقم ذرة الكربون التي يرتبط بها المتفرع.

مهمّ

الصيغة لمجموعة الألكيل يمكن تحديدها من الصيغة العامة C_nH_{2n+1} (مثال: ألكان مع فقد ذرة هيدروجين). المجموعة CH_3- تسمى **ميثيل**، و CH_3-CH_2- يسمى **إيثيل**، و $CH_3CH_2CH_2$- **بروبيل**، وهكذا. في بعض الأحيان تمثل مجموعات الألكيل بالرمز R– في الصيغة البنائية.

تسمية التفرع بنظام IUPAC

١. إذا كانت المجموعة المتفرعة متكررة في المركب نستخدم البادئة وفق العدد الموجود (مثال: مجموعتان = ثنائي، 3 مجموعات = ثلاثي، 4 مجموعات = رباعي وهكذا...) ونكتبها أمام (قبل) اسم الجزيء، مسبوقة بأرقام ذرات الكربون التي ترتبط بها المتفرعات. ونفصل الأرقام بوساطة الفواصل (،) ونفصل بوساطة شرطة (–) بين الأعداد والكلمات المكوّنة لاسم المركب، كما هو موضح في المثالين الآتيين:

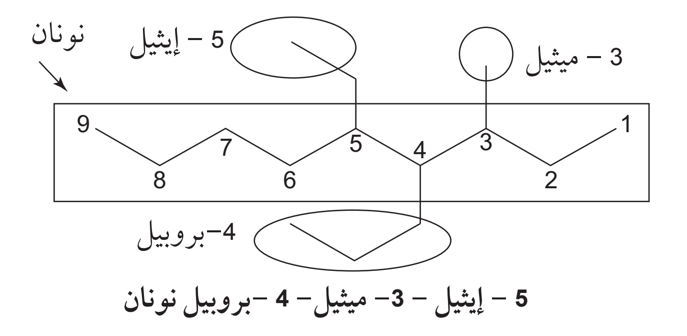


4،3،3 – ثلاثي إيثيل أوكتان

4،3 – ثنائي ميثيل هبتان

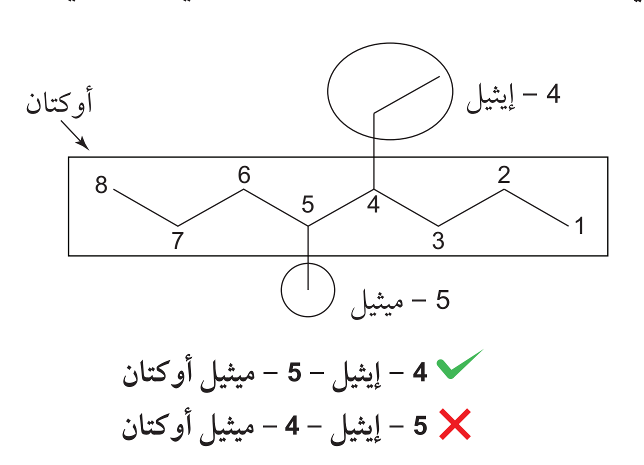
٢. إذا كانت مجموعات الألكيل مختلفة فاتبع الترتيب الأبجدي باللغة الإنجليزية. مثال إيثيل (ethyl) يسمى قبل الميثيل (methyl) وميثيل قبل بروبيل (propyl) وهكذا الحرف e يأتي قبل m وال m قبل p في الأبجدية الإنجليزية.

ونبقي على ترقيم السلسلة بحيث تحصل التفرعات على الأرقام الأصغر/ كما هو موضح في المثال الآتي:



5 – إيثيل – 3– ميثيل – 4 –بروبيل نونان

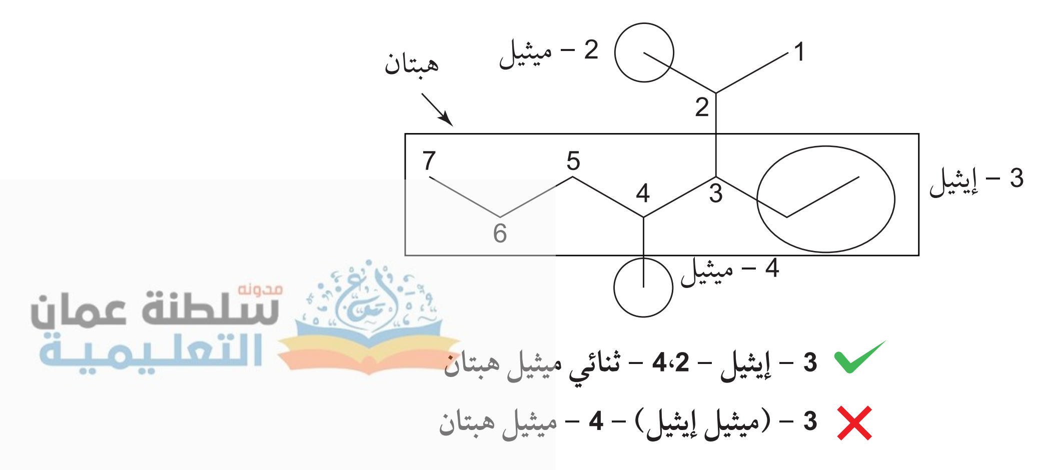
٣. إذا كانت هناك مجموعتا ألكيل ولا فرق في الترقيم، وبدأنا من أحد طرفَي السلسلة، فإننا نبدأ الترقيم بحيث نعطي الرقم الأصغر للمجموعة التي يبدأ اسمها أولًا وفق التسلسل الأبجدي الإنكليزي كما هو موضح في المثال الآتي:



✓ 4 – إيثيل – 5 – ميثيل أوكتان

✗ 5 – إيثيل – 4 – ميثيل أوكتان

٤. إذا كان هناك أكثر من سلسلة كربونية واحدة طويلة لديها العدد نفسه من ذرات الكربون نختار السلسلة التي لديها العدد الأكبر من المتفرعات (ذات أرقام مختلفة)، كما هو موضح في المثال الآتي:



✔ 3 – إيثيل – 2،4 – ثنائي ميثيل هبتان

✘ 3 – (ميثيل إيثيل) – 4 – ميثيل هبتان

مثال

١. سمِّ المركب العضوي الذي يمتلك الصيغة البنائية الآتية:

$$CH_3-CH_2-CH_2-\underset{}{\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}}-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$$

الحلّ:

الخطوة ١: حدد عدد ذرات الكربون في السلسلة الأطول.

$$CH_3-CH_2-CH_2-\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$$

السلسلة الأطول فيها 8 ذرات كربون وبالتالي فإن الاسم هو **أوكتان**.

الخطوة ٢: حدد اسم مجموعة الألكيل المتفرع.

$$CH_3-CH_2-CH_2-\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$$

الألكيل لديه كربون واحد في سلسلته وبالتالي فهو **ميثيل**.

الخطوة ٣: حدد موقع الميثيل المتفرع في السلسلة الرئيسية، قم بذلك عبر ترقيم السلسلة من الطرف الأقرب للتفرع لإعطاء الرقم الأصغر لموقع الألكيل.

$$\underset{1}{CH_3}-\underset{2}{CH_2}-\underset{3}{CH_2}-\underset{4}{\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}}-\underset{5}{CH_2}-\underset{6}{CH_2}-\underset{7}{CH_2}-\underset{8}{CH_3}$$

الميثيل موجود على الكربون الرابع من السلسلة.

(لاحظ أنه إذا بدأت العد من الجهة الثانية فإن الألكيل سيكون متصلًا بالكربون الخامس).

الخطوة ٤: اكتب اسم المركب:

بداية اكتب اسم المجموعة المتفرعة **(ميثيل)** مسبوقًا بالرقم المعطى له بعد وضع شرطة ما بين الاسم والرقم (4–)

أخيرًا، اكتب اسم الألكان بحسب عدد ذرات الكربون في السلسلة الرئيسية **(أوكتان)**

الاسم هو: **4 – ميثيل أوكتان**.

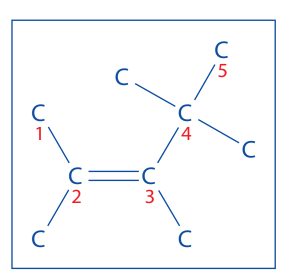
مثال

٢. **سمِّ المركب العضوي الذي يمتلك الصيغة البنائية الآتية:**

الحلّ:

الخطوة ١: حدد السلسلة الأطول وعدد ذرات الكربون الموجودة فيها، مع الأخذ بعين الاعتبار أن السلسلة الأطول تحتوي على المجموعة الوظيفية إن وجدت.

تحتوي السلسلة الأطول في هذا الجزيء على 5 ذرات كربون، لذا تكون البادئة في اسمه **بنت**..



الخطوة ٢: ابحث عن أيّة مجموعات وظيفية في السلسلة الكربونية.

تحتوي السلسلة على مجموعة C=C (ألكين)، أي أن اسم الجزيء ينتهي باللاحقة **.ين** فيكون اسمه بنتين.

الخطوة ٣: حدد موقع هذه المجموعة الوظيفية على السلسلة الكربونية.

بالترقيم ابتداء من يسار السلسلة الأطول، تكون المجموعة C=C هي الرابطة الثانية في السلسلة.

(لاحظ أن هذا الترقيم يعطي الرابطة الثنائية الرقم الأصغر. في حين أن الترقيم من الطرف الآخر، يجعلها الرابطة الثالثة في السلسلة).

لذا يكون اسم السلسلة الأطول هو **2 – بنتين**.

الخطوة ٤: ابحث عن أيّة مجموعات (سلاسل ألكيل فرعية على السلسلة الكربونية الأطول، ثم حدد مواقعها.

لدينا أربع مجموعات ميثيل، أي أنه سيكون **رباعي ميثيل**. ومجموعات الميثيل هذه موجودة على ذرات الكربون **2** و **3** و **4**. وهذا يعني أن الاسم سيبدأ بـ **2،3،4،4 – رباعي ميثيل**.

الخطوة ٥: سمّ الجزيء العضوي:

2،3،4،4 – رباعي ميثيل - 2 – بنتين.

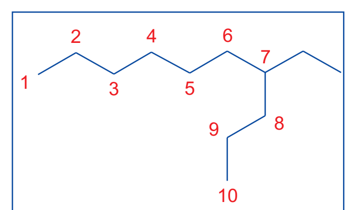
مثال

٣. **سمّ المركب العضوي الذي يمتلك الصيغة الهيكلية الآتية:**

الحلّ:

الخطوة ١: حدد السلسلة الأطول وحدد عدد ذرات الكربون الموجودة فيها.

تحتوي السلسلة الأطول في هذا المركب على 10 ذرات كربون، لذا تكون البادئة في اسمه **ديك**.. وبما أنه يحتوي على روابط أحادية فقط، لذا يكون اسم السلسلة **ديكان**.



تابع

الخطوة ٢: ابحث عن أيّة مجموعات وظيفية على السلسلة الكربونية.

لدينا مجموعة Br– (تعطي اسم بروموألكان)، أي أن الاسم سيبدأ بـ **برومو**.

ولدينا كذلك مجموعة OH– (كحولات)، أي أن الاسم سينتهي باللاحقة **–آنول**.

الخطوة ٣: حدد موقع هاتَين المجموعتَين الوظيفيّتَين على السلسلة الكربونية.

إذا بدأنا الترقيم من الطرف الأيسر للسلسلة الأطول، فسيكون موقع مجموعة Br– على ذرة الكربون 6، وموقع مجموعة OH– على الذرة 8.

أمّا إذا بدأنا الترقيم من الطرف الأيمن للسلسلة الأطول، فسيكون موقع مجموعة Br– على ذرة الكربون 5، وموقع مجموعة OH– على الذرة 3. حيث يُعدّ هو الترقيم الصحيح وهذا يجعل أسماء هاتَين المجموعتَين:

5 – برومو و **3 – ول.**

Br 5 4 3 2 1 OH

الخطوة ٤: ابحث عن أيّة مجموعات (سلاسل) ألكيل فرعية على السلسلة الكربونية الأطول، ثم حدد مواقعها.

لدينا مجموعة ألكيل فرعية واحدة على السلسلة، تتكون من ذرّتَي كربون، ما يجعل منها مجموعة إيثيل، وهي موجودة على ذرة الكربون الرابعة، وهذا ما يعطي 4 – إيثيل.

الخطوة ٥: ضع أجزاء الاسم معًا، فيكون اسم الجزيء:

5 – برومو – 4 – إيثيل – 3 – ديكانول

(تذكر أن تضيف المقطع "ـول" إلى نهاية اسم الألكان للحصول على اسم الكحول المرتبط بوجود المجموعة OH–، كما يجب، في بداية الاسم، كتابة أسماء المجموعات والسلاسل الفرعية وفق الترتيب الأبجدي الإنجليزي وليس وفق الترتيب العددي، الأمر الذي يعني أن الاسم: 4–إيثيل–5–برومو–3–ديكانول، ليس صحيحًا).

مثال

٤. **اكتب الصيغتَين الموسعة والبنائية للمركب: 2، 5،5 – ثلاثي ميثيل – 1 – هكسانول**

الحلّ:

الخطوة ١: ارسم السلسلة الكربونية بالاستناد إلى اسم البادئة (هكس–) الأمر الذي يعني وجود 6 ذرات كربون.

C—C—C—C—C—C
6 5 4 3 2 1

(لاحظ أنه بإمكانك ترقيم ذرات الكربون من أي من طرفَي السلسلة)

الخطوة ٢: أضف المجموعة الوظيفية والسلاسل الجانبية إلى السلسلة الأطول (الرئيسية) وفق الترتيب الآتي:

- مجموعة OH– (التي تشير إليها اللاحقة –نول) إلى ذرة الكربون الأولى.
- ثلاث مجموعات CH_3 (التي يشير إليها الاسم ثلاثي ميثيل)؛ واحدة إلى ذرة الكربون 2، واثنتان إلى ذرة الكربون 5.

```
        H
        |
      H—C—H
        |
 C — C — C — C — C — C — O — H
 6   5   4   3   2   1
     |           |
   H—C—H       H—C—H
     |           |
     H           H
```

تابع

(لاحظ أن الصيغة الموسعة يجب أن تُوضح الروابط جميعها في الجزيء، بما فيها تلك الموجودة في مجموعة OH ومجموعات CH_3).

الخطوة ٣: أكمل رسم الصيغة الموسعة بإضافة ذرات الهيدروجين إلى السلسلة الكربونية.

الخطوة ٤: اكتب الصيغة البنائية بالاستناد إلى الصيغة الموسعة.

اكتب ذرات الكربون الستّ على خط مستقيم تاركًا بينها فراغات مناسبة، ومن دون إظهار الروابط.

C—C—C—C—C—C

بعد كل ذرة كربون، اكتب رموز الذرات والمجموعات المرتبطة بها وأعدادها.

$CH_3\ C(CH_3)_2\ CH_2\ CH_2\ CH(CH_3)\ CH_2OH$

تذكّر أن تضيف قوسَين حول كل مجموعة تمتلك أكثر من ذرة واحدة (مثل CH_3)، وهكذا سيكون واضحًا أنها سلسلة جانبية وليست جزءًا من السلسلة الرئيسية.

مثال

٥. ارسم الصيغة الهيكلية للمركب:

1، 1–ثنائي برومو – 5 – كلورو –6 – ميثيل – 2 – هبتين

الحلّ:

الخطوة ١: ارسم السلسلة الهيكلية بالاستناد إلى اسم البادئة.

إن اسم البادئة هو هبتـ–، الأمر الذي يعني وجود 7 ذرات كربون.

تذكّر أنه بالنسبة إلى الصيغة الهيكلية، توضح مواقع ذرات الكربون فقط، وليس رموزها.

الخطوة ٢: أضف المجموعات الوظيفية إلى الصيغة الهيكلية وفق الترتيب الآتي:

- رابطة ثنائية (التي تشير إليها اللاحقة –ين) بين ذرّتَي الكربون 2 و 3 (أي أنها تكون الرابطة الثانية في السلسلة).
- ذرة كلور في ذرة الكربون 5.
- ذرّتَي بروم في ذرة الكربون 1.

الخطوة ٣: أضف السلسلة الجانبية إلى الصيغة الهيكلية؛ وهي مجموعة الميثيل (CH_3) في ذرة الكربون 6. وبما أن ذرات الكربون والهيدروجين غير موضحة في الصيغة الهيكلية، يتم رسم خط مستقيم يمثل طرفُه الحر ذرةَ الكربون الإضافية.

تذكّر أنه بإمكانك بدء ترقيم ذرات الكربون من أي من طرفَي السلسلة، ويمكن توضيح التركيب على النحو الآتي:

الألكانات الحلقية

يمكن للألكانات أن تكون في شكل حلقات تعرف باسم الألكانات الحلقية Cycloalkanes. فبدلًا من ربط ذرات الكربون في شكل سلسلة خطية تمتلك طرفين حرين، ترتبط كل ذرة كربون بذرتي كربون أخريين، الأمر الذي يؤدي إلى تكوين حلقة. والعلاقة بين الألكان الحلقي والألكان الخطي تكمن في أن لهما عدد ذرات الكربون نفسه إلا أن الألكان الحلقي ينقصه ذرّتا هيدروجين عن الألكان الخطي. وتمتلك الألكانات الحلقية الصيغة العامة C_nH_{2n}؛ وستلاحظ أن هذه الصيغة هي نفسها الصيغة العامة للألكينات.

البروبان الحلقي (cyclopropane) هو أبسط ألكان حلقي. لتسمية الألكان الحلقي باستخدام نظام IUPAC، تتم إضافة اللاحقة حلقي إلى اسم الألكان الذي يمتلك العدد نفسه من ذرات الكربون.

يوضح الجدول (٨-٨) الألكانات الحلقية الأولى وبعض الأمثلة على ألكانات حلقية متفرعة، مع صيغها الموسعة والهيكلية.

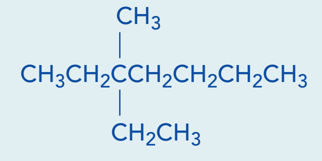
اسم الألكان الحلقي وصيغته الجزيئية	الصيغة الموسعة	الصيغة الهيكلية
بروبان حلقي (سايكلوبروبان) C_3H_6		
بيوتان حلقي (سايكلوبيوتان) C_4H_8		
بنتان حلقي (سايكلوبنتان) C_5H_{10}		
هكسان حلقي (سايكلوهكسان) C_6H_{12}		
ميثيل بروبان حلقي (ميثيل سايكلوبروبان) C_4H_8		
3،1 - ثنائي ميثيل بيوتان حلقي (3،1 - ثنائي ميثيل سايكلوبيوتان) C_6H_{12}		

الجدول ٨-٨ أمثلة على ألكانات حلقية وألكانات حلقية متفرعة.

سؤال

٢ **أ.** ارسم الصيغة البنائية الموسعة لكل ممّا يلي:
١. 2 – ميثيل بيوتان
٢. 5،3 – ثنائي إيثيل هبتان
٣. 6،4،2 – ثلاثي ميثيل أوكتان

ب. ١. سمّ الهيدروكربون الذي يمتلك الصيغة الآتية:



٢. ارسم الصيغة الهيكلية لجزيء هذا الهيدركربون.

ج. ارسم الصيغة الموسعة لـ 2 – برومو – 3، 3 – ثنائي كلوروهكسان.

د. سمِّ المركب الذي يمتلك الصيغة البنائية الآتية:
$CH_3CH(CH_3)CH_2CH_2C(CH_3){=}CHCH_3$

هـ. الاسم الصحيح للمركب الذي يمتلك الصيغة $CH_2ClCHClCHBrCBr_2CH_3$ هو:
أ . 3،2،2 – ثلاثي برومو – 5،4 – ثنائي كلوروبنتان
ب. 5،5،4 – ثلاثي برومو – 3،2 – ثنائي كلوروبنتان
ج. 4،4،3 – ثلاثي برومو – 2،1 – ثنائي كلوربنتان
د . 5،4 – ثنائي كلورو – 3،2،2 – ثلاثي بروموبنتان

و. الصيغة البنائية التي تمثل 5،3 – ثنائي ميثيل – 2 – هكسانول هي:
أ . $CH_2(OH)CH(CH_3)CH_2CH(CH_3)CH_2CH_3$
ب. $CH_3CH(CH_3)CH_2CH(CH_3)CH(OH)CH_3$
ج. $CH_3CH(OH)CH(CH_3)CH(CH_3)CH_2CH_3$
د . $CH_3CH(CH_3)CH(CH_3)CH(OH)CH_2CH_3$

٨-٣ الترابط في الجزيئات العضوية

يمكن معرفة قابلية ذرة الكربون للارتباط بذرات كربون أخرى، وأشكال الجزيئات المتكوّنة بدراسة الروابط المتكونة في هذه الجزيئات (انظر الجدول ٨-٩).

روابط سيجما (σ)

تمتلك كل ذرة كربون ستة إلكترونات، وفق التوزيع الإلكتروني: $1s^2 2s^2 2p^2$. ما يعني أن ذرة الكربون تمتلك أربعة إلكترونات في مستوى طاقتها الخارجي. ويمكن لذرة الكربون أن تكمل مستوى الطاقة الأخير (المستوى الثاني) عن طريق تكوين روابط تساهمية أحادية Single covalent bonds مع أربع ذرات أخرى. وتُعرف هذه الروابط التساهمية الأحادية بـ روابط سيجما (σ) Sigma bonds.

وقد درست في الوحدة الثالثة الموضوع (٣-٣) أن أزواج إلكترونات روابط سيجما المحيطة بكل ذرة كربون تتنافر بعضها عن بعض؛ الأمر الذي يؤدي إلى ترتيبها في شكل رباعي الأوجه، بحيث تكون أزواج الروابط أبعد ما يمكن بعضها

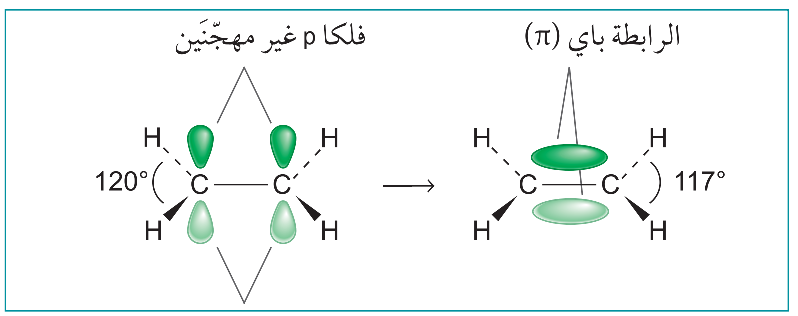
عن بعض. وتكون قيمة زوايا الروابط في الجزيء الذي يمتلك شكلًا رباعي الأوجه تساوي 109.5°. يوضح الشكل (٨–٧) الصيغة ثلاثية الأبعاد (3D) لجزيء الإيثان. حيث يكون تهجين أفلاك كل ذرة كربون من النوع sp^3.

الشكل ٨–٧ الصيغة ثلاثية الأبعاد لجزيء الإيثان.

روابط باي (π)

وتستطيع ذرات الكربون أن تكوّن أيضًا روابط ثنائية وثلاثية في الجزيئات العضوية. فرابطة C=C، كتلك التي توجد في الألكينات مثل الإيثين، مكوّنة من رابطة سيجما (σ) ورابطة باي (π) Pi bond، وذرات الكربون المكوّنة للرابطة الثنائية تكوّن أيضًا كلٌّ منها ثلاث روابط سيجما (σ)، ويُعدّ هذا مثالًا على التهجين من نوع sp^2، هذا النوع من التهجين يوفر لكل ذرة كربون إلكترونًا خارجيًا إضافيًا واحدًا في الفلك الذري غير المهجن p، وعندما يتداخل فلكا p معًا (تداخلًا جانبيًا) فإنهما يكوّنان رابطة باي (π). يوضح الشكل (٨–٨) تكوُّن الرابطة باي (π) في جزيء الإيثين.

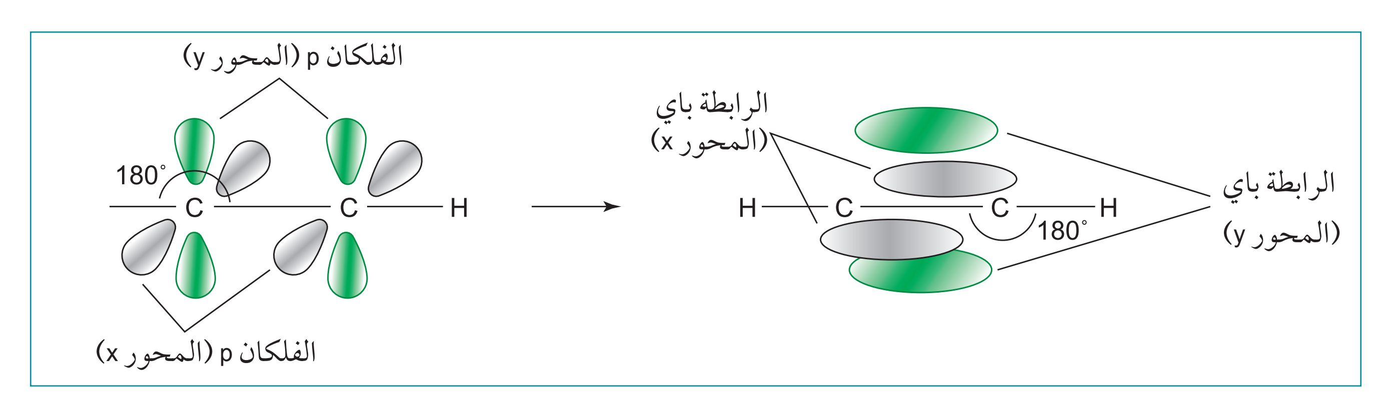
أما كل ذرة كربون مشاركة في رابطة ثلاثية C≡C فتكوّن رابطتي سيجما فقط. وهذا مثال على التهجين sp، الذي يترك لكل ذرة كربون إلكترونين خارجيين احتياطيين يشغل كل منهما الفلك p^2 الخاص به. يشكل كل فلك p^2 في ذرة



الشكل ٨–٨ تكوّن الرابطة باي (π) من التداخل الجانبي لفلكَين من نوع p.

الكربون زاوية قائمة مع الفلك p^2 الآخر (في الذرة نفسها). على سبيل المثال، يكون الفلك p^2 على المحور (y) عموديًا على فلك p^2 على المحور (z). عندما تتداخل (جانبيًا) الأفلاك p^2 المتوازية في ذرتي كربون مختلفتين، تتكوّن رابطة باي، لذلك تتكوّن رابطتا باي عندما يكون تهجين ذرات الكربون من نوع sp.

يوضح الشكل (٨–٩) كيف تتكوّن رابطتا باي في الإيثاين. ولأنه توجد فعليًا رابطتان حول كل ذرة كربون (الرابطة الأحادية C–H والرابطة الثلاثية C≡C) تكون زوايا الروابط تساوي 180° ويكون الجزيء خطيًا.



الشكل ٨–٩ تكوّن رابطتي باي بين ذرتي الكربون في الإيثاين.

اسم السلسلة		ألكان	ألكين	ألكاين
مثال		إيثان (CH_3CH_3)	إيثين (CH_2CH_2)	إيثاين (CHCH)
الصيغة الموسعة		H–C(H)(H)–C(H)(H)–H	$H_2C{=}CH_2$	H–C≡C–H
عدد كل نوع من الروابط لكل ذرة كربون	سيجما	4	3	2
	باي	0	1	2
نوع التهجين		sp^3	sp^2	sp
قيم الزوايا بين الروابط		109.5°	120°	180°
تمثيل ثلاثي الأبعاد للمثال		تداخل بين فلكين هجينين لتكوين رابطة سيجما؛ تداخل بين فلك هجين وفلك s لتشكيل رابطة سيجما	تداخل فلكي p لتكوين رابطة باي	تداخل 4 أفلاك p لتكوين رابطتي باي

الجدول ٨-٩ أنواع تهجين الأفلاك الذرية والروابط في الألكانات والألكينات والألكاينات.

سؤال

٣ أ. ارسم الصيغة الموسعة لكل من المركبات الآتية:
١. البروبان (C_3H_8)
٢. البروبين (C_3H_6)
٣. الإيثاين (C_2H_2)

ب. صنف المركبات العضوية الآتية وفق نوع التهجين (sp، sp^2، sp^3).
١. C_2H_2
٢. C_2H_4
٣. C_2H_6
٤. C_3H_6

٨-٤ التشاكل في المركبات العضوية

أ. التشاكل البنائي

لقد درست سابقًا أن الصيغة الجزيئية لمركب ما تزودنا بعدد ونوع كل ذرة موجودة في جزيء واحد من هذا المركب. فعلى سبيل المثال، يحتوي جزيء البروبين (C_3H_6)، على ثلاث ذرات كربون وست ذرات هيدروجين.

وتوجد طرائق مختلفة لترتيب هذه الذرات وفق صيغة جزيئية معيّنة. وهذا يعني أنه يمكن تكوين جزيئات مختلفة ذات تراكيب مختلفة، فينتج عنها مركبات مختلفة. وتسمى هذه المركبات التي لها الصيغة الجزيئية نفسها ولكنها تختلف في صيغها البنائية **المتشاكلات البنائية Strutural isomers**. فعلى سبيل المثال، يمكن للصيغة الجزيئية للبروبين (C_3H_6)، أن تكون هي نفسها صيغة البروبان الحلقي أيضًا (الشكل ٨-١١).

مصطلحات علمية

المتشاكلات البنائية Strutural isomers: مركبات تمتلك الصيغة الجزيئية نفسها وتختلف في صيغها البنائية.

الشكل ٨-١٠ الصيغة الموسعة للبروبين (C_3H_6).

الشكل ٨-١١ الصيغة الموسعة للبروبان الحلقي (C_3H_6).

يوجد ثلاثة أنواع من التشاكل البنائي، هي:

١. تشاكل موقع المجموعة الوظيفية
٢. تشاكل نوع المجموعة الوظيفية
٣. تشاكل السلسلة الكربونية

تشاكل موقع المجموعة الوظيفية

في تشاكل الموقع، يتغير موقع المجموعة الوظيفية في كل متشاكل، وتوفر الصيغة الجزيئية ($C_3H_6Br_2$) مثالًا يمكن من خلاله توضيح الأمر، يوضح الشكل (٨-١٢) المتشاكلات الأربعة المحتملة لهذه الصيغة.

الشكل ٨-١٢ تشاكل الموقع.

ذرة الكربون في الرابطة الأحادية C–C تمتلك حرية الدوران حول محور الرابطة، ما يعني أن الذرات المرتبطة بها غير ثابتة في مكان واحد. لذا عليك الانتباه عند رسم الصيغة الموسعة للمتشاكلات المختلفة حتى لا يتكرر التركيب نفسه، وكمثال على ذلك الجزيئات الثلاث الموضحة في الشكل (٨-١٣) تمثل جميعها المركب 2،1 – ثنائي برومو بروبان، أي أنها متشاكلات متشابهة للمركب الذي صيغته ($C_3H_6Br_2$).

Br—C(H)(H)—C(H)(Br)—C(H)(H)—H ⟷ H—C(H)(Br)—C(H)(Br)—C(H)(H)—H ⟷ H—C(Br)(H)—C(H)(Br)—C(H)(H)—H

الشكل ٨-١٣ صيغ مختلفة لتمثيل الجزيء نفسه؛ بسبب إمكانية الدوران الحر حول الروابط الأحادية C–C.

تشاكل نوع المجموعة الوظيفية

في تشاكل المجموعة الوظيفية، يتغير نوع المجموعة الوظيفية في كل متشاكل. فعلى سبيل المثال، إذا أخذنا الصيغة الجزيئية (C_3H_8O)، يمكننا رسم مركبين هما كحول (R-OH) وإيثر (R-O-R) (الشكل ٨-١٤).

1 – بروبانول	إيثيل ميثيل إيثر
$CH_2(OH)$—CH_2—CH_3	CH_3—O—CH_2—CH_3

الشكل ٨-١٤ تشاكل المجموعة الوظيفية.

يمتلك هذان المتشاكلان مجموعتَين وظيفيتَين مختلفتَين، وبالتالي يمتلكان خصائص كيميائية مختلفة بعضها عن بعض. مثال آخر على تشاكل المجموعة الوظيفية رأيناه سابقًا مع الصيغة (C_3H_6) وهو يكون إما ألكين (بروبين) وإما ألكان حلقي (بروبان حلقي) (انظر الشكلين (٨-١٠) و(٨-١١)).

تشاكل السلسلة الكربونية

تختلف متشاكلات السلسلة في التركيب البنائي للسلسلة الكربونية. فعلى سبيل المثال، يُعدّ البيوتان وميثيل البروبان متشاكلَي سلسلة، فكلاهما يمتلك الصيغة الجزيئية (C_4H_{10}) نفسها (الشكل ٨-١٥).

بيوتان	2 – ميثيل بروبان
$CH_3CH_2CH_2CH_3$	$CH_3CH(CH_3)CH_3$

الشكل ٨-١٥ مثال على تشاكل السلسلة.

مثال

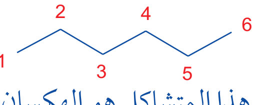
٦. اكتب الصيغ البنائية المحتملة للمتشاكلات جميعها للسلسلة التي تمتلك الصيغة الجزيئية (C_6H_{14}).

الحلّ:

تستخدم الصيغة الهيكلية لتسهيل الحل.

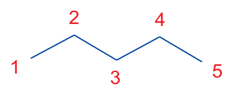
الخطوة ١: حدد في البداية، المتشاكل الذي يمتلك السلسلة الأطول.

ارسم ذرات الكربون الستّ جميعها لتمثيل الصيغة الهيكلية.



هذا المتشاكل هو الهكسان

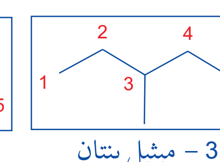
الخطوة ٢: بعد ذلك، ارسم خمس ذرات كربون في شكل سلسلة (سلسلة بنتان).



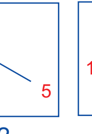
ويبقى لدينا ذرة كربون (مجموعة ميثيل) يجب وضعها على السلسلة.

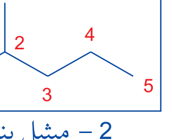
تمثل ذرتا الكربون 1 و 5 طرفَي السلسلة، وبالتالي فإن إضافة أي ذرة كربون إلى أحدهما سينتج منه متشاكل السلسلة الهكسان مرة أخرى.

لذا تكون ذرتا الكربون 2 و 3 مناسبتَين لإضافة ذرة الكربون السادسة.



3 – ميثيل بنتان

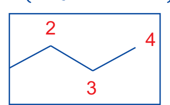




2 – ميثيل بنتان

ذرة الكربون 4 مشابهة لذرة الكربون 2، لذا لا وجود للمركب 4 – ميثيل بنتان.

الخطوة ٣: بعد ذلك، ارسم أربع ذرات كربون في شكل سلسلة (سلسلة بيوتان).



ويبقى هناك ذرتا كربون يجب وضعهما على السلسلة، يمكن أن تكوّنا مجموعتَي ميثيل، أو مجموعة إيثيل واحدة.

تمثل ذرتا الكربون 1 و 4 طرفَي السلسلة، لهذا فإن إضافة أي ذرات كربون إلى أحدهما سينتج منه متشاكلات سلسلة الهكسان أو البنتان.

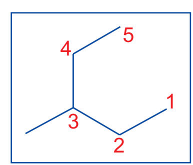
لذا ستكون ذرتا الكربون 2، و3 مناسبتَين لإضافة مجموعتَي الميثيل.



2،2 – ثنائي ميثيل بيوتان   3،2 – ثنائي ميثيل بيوتان

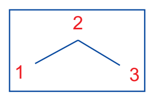
(لا وجود للمركب 3،3 – ثنائي ميثيل بيوتان، لأنه هو نفسه المركب 2،2 – ثنائي ميثيل بيوتان).

إذا وضعنا مجموعة إيثيل على إحدى ذرّتَي الكربون 2 أو 3 في سلسلة البيوتان، نحصل على الصيغة الهيكلية الموضحة أدناه والتي هي نفسها 3 – ميثيل بنتان التي رأيناها سابقًا.

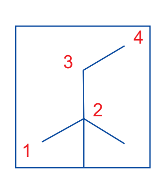


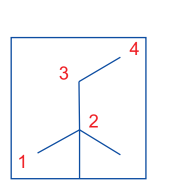
أي أنه لا وجود للمركب 2 – إيثيل بيوتان أو 3 – إيثيل بيوتان.

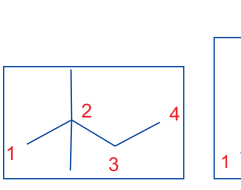
الخطوة ٤: تحقق من وجود أي متشاكلات سلسلة تحتوي فيها السلسلة الأطول على 3 ذرات كربون (سلسلة بروبان).



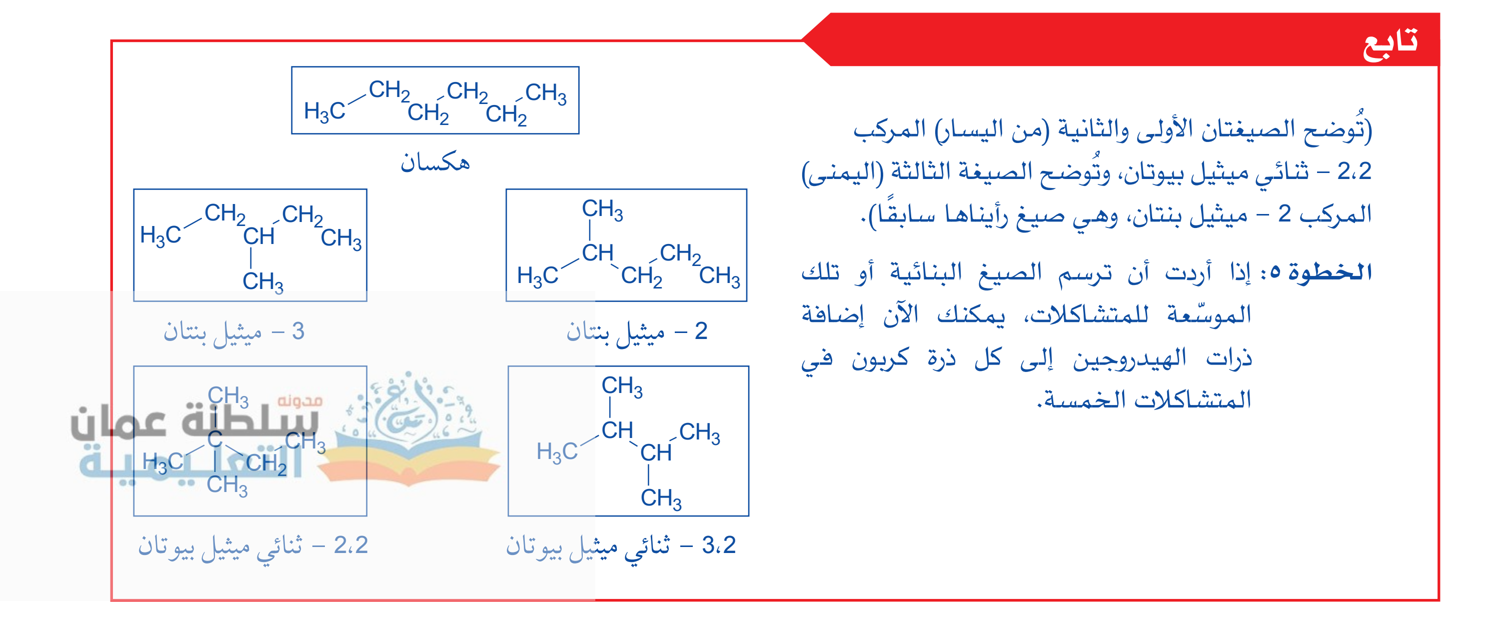
يبقى هناك ثلاث ذرات كربون يجب وضعها على السلسلة. وعلى الرغم من إمكانية وضع مجموعتَي ميثيل على ذرة الكربون 2، غير أنه ينبغي وضع مجموعة الميثيل الثالثة على ذرة الكربون 1 أو 3، وهو ما يعطينا سلسلة بيوتان وليس بروبان. وبشكل مشابه، فإن إضافة مجموعة إيثيل أو ميثيل أو بروبيل إلى ذرة الكربون 2 سيعطينا سلسلة بيوتان أو بنتان.







تابع



(تُوضح الصيغتان الأولى والثانية (من اليسار) المركب 2،2 – ثنائي ميثيل بيوتان، وتُوضح الصيغة الثالثة (اليمنى) المركب 2 – ميثيل بنتان، وهي صيغ رأيناها سابقًا).

الخطوة ٥: إذا أردت أن ترسم الصيغ البنائية أو تلك الموسّعة للمتشاكلات، يمكنك الآن إضافة ذرات الهيدروجين إلى كل ذرة كربون في المتشاكلات الخمسة.

سؤال

٤ **أ.** سمِّ المتشاكلات الأربعة الموجودة في الشكل (٨–١٢).

ب. ارسم الصيغ الموسّعة للمتشاكلات البنائية التي تمتلك الصيغة (C_3H_7Cl)، وسمّها.

ج. ارسم الصيغ الموسّعة لمتشاكلات موقع المجموعة الوظيفية التي تمتلك الصيغة (C_4H_8) وسمّها:

١. ألكينات

٢. ألكانات حلقية

د. ارسم الصيغة الموسّعة لمتشاكل صيغته (C_3H_8O)، وسمّه.

هـ. ارسم الصيغ الموسّعة للمتشاكلات التي تمتلك الصيغة (C_5H_{12})، وسمّها.

ب. التشاكل الفراغي

المتشاكلات الفراغية Stereoisomers مركبات تمتلك جزيئاتها الذرات نفسها المرتبطة بعضها ببعض، لكنها تختلف في الترتيب الفراغي لذراتها.

يوجد نوعان من التشاكل الفراغي، هما:

١. التشاكل الهندسي (سيس *cis*/ترانس *trans*)

٢. التشاكل الضوئي (البصري *enantiomers*).

التشاكل الهندسي (سيس *cis* / ترانس *trans*)

ينشأ هذا النوع من التشاكل بسبب عدم إمكانية الدوان الحر حول الرابطة الثنائية C=C على عكس الرابطة الأحادية C–C، وذلك لأن الرابطة باي (π) الموجودة بين ذرّتَي الكربون تمنع الرابطة سيجما من الدوران بحريّة كما قد تنشأ بسبب البنية الحلقية للمركب العضوي. فينتج من ذلك نوع مختلف من التشاكل في المركبات العضوية غير المشبعة يسمى **التشاكل الهندسي (سيس– ترانس) *Cis/trans* (geometric) isomerism**. ويعطي الشكل (٨–١٦) مثالاً على ذلك.

سيس – 2،1 – ثنائي برومو إيثين	ترانس – 2،1 – ثنائي برومو إيثين
Br, Br / C=C / H, H	H, Br / C=C / Br, H

الشكل ٨-١٦ التشاكل الهندسي.

ففي سيس – 2،1 – ثنائي برومو إيثين، تبقى ذرّتا البروم (Br) ثابتتين على الجهة نفسها من الرابطة الثنائية C=C لعدم وجود حريّة دوران حول هذه الرابطة بسبب وجود رابطة باي (π) وبالمقابل تكون ذرتا البروم (Br) في ترانس – 2،1 – ثنائي برومو إيثين، على الجهتَين المتعاكستَين للرابطة الثنائية.

يمتلك هذان المتشاكلان الفراغيان ترتيبات مختلفة للذرات في الفراغ، وبالتالي فهما مركبان مختلفان ويمتلكان خصائص فيزيائية مختلفة. ويمكن أيضًا أن يكون للمتشاكلات الفراغية بعض الخصائص الكيميائية المختلفة، كأن تتفاعل بمعدلات سرعة مختلفة للتفاعل نفسه.

التشاكل الهندسي (سيس/ترانس) E/Z

عندما تختلف الذرات (أو مجموعات الذرات) الموجودة على ذرتي الكربون اللتين تشكلان الرابطة الثنائية بعضها عن بعض، فإننا نستخدم الفرق في الكتل الذرية/الجزيئية لهذه الذرات (أو مجموعات الذرات) لتحديد نوع المتشاكل الفراغي.

يتم استخدام البادئة Z حيث تكون المجموعات أو الذرات ذات الكتل الذرية/الجزيئية الأكبر في ترتيب cis، بينما تستخدم البادئة E حيث تكون المجموعات أو الذرات في ترتيب ترانس (انظر الشكل (٨-١٧)).

المتشاكل الهندسي E	المتشاكل الهندسي Z
أصغر، أكبر / C=C / أكبر، أصغر	أكبر، أكبر / C=C / أصغر، أصغر

الشكل ٨-١٧ موقع الكتلة الذرية / الجزيئية الأكبر للذرات أو مجموعات الذرات يحدد بادئة المتشاكل الفراغي.

يمكن توضيح كيفية تحديد ما إذا كان المركب هو Z أو E وفقًا للكتلة الذرية/الجزيئية عبر مثال باستخدام المتشاكلين الفراغيين لـ 1 – كلورو – 1 – فلوروبروبين.

يحتوي هذا الجزيء على ذرة Cl وذرة F على إحدى ذرتي الكربون في الرابطة الثنائية ويحتوي على ذرة H ومجموعة CH_3 على ذرة الكربون الأخرى (انظر الشكل (٨-١٨)).

E – 1 – كلورو – 1 – فلوروبروبين

Z – 1 – كلورو – 1 – فلوروبروبين

الشكل ٨-١٨ المتشاكلان الفراغيان Z و E للمركب 1-كلورو – 1 – فلوروبروبين.

ذرتا الكلور والفلور موجودتان على ذرة الكربون نفسه، ولكن بما أن الكلور يمتلك كتلة ذرية أكبر، فإن له الأولوية في تحديد المتشاكل E أو Z. وعلى ذرة الكربون الأخرى، توجد مجموعة CH_3 وذرة هيدروجين، ولكن مجموعة الميثيل لديها الكتلة الجزيئية الأكبر. لذلك، يعتمد تحديد كل من المتشاكلين الفراغيين على المواقع النسبية لـ Cl و CH_3 على الرابطة الثنائية. فعندما يكون Cl و CH_3 على جانبي الرابطة الثنائية (المتقابلين)، يكون المتشاكل هو E، وحيث يكون Cl و CH_3 على الجانب نفسه من الرابطة الثنائية، يكون المتشاكل هو Z. وهكذا يتم استخدام البادئتين Z و E بدلًا من سيس وترانس لأنهما تشيران إلى أن الكتل الذرية أو الجزيئية قد استخدمت لتحديد المتشاكل.

مثال

٧. **ارسم الصيغة البنائية لأي متشاكلين هندسيين سيس وترانس لـ 1 – بيوتين ولـ 2 – بيوتين.**

الحلّ:

الخطوة ١: ارسم الشكل الأساسي للصيغة الموسعة للألكين الذي يوضح زوايا الروابط التي تساوي نحو 120°.

استخدم هذا الشكل لكل الإجابات.

الخطوة ٢: ارسم صيغة بنائية لـ 1 – بيوتين

فكر الآن فيما إذا كانت هناك إمكانية لإيجاد صيغة بنائية مختلفة إذا تم تبديل الذرات أو المجموعات الموجودة على كل ذرة كربون في الرابطة الثنائية:

- الكربون رقم 1– مرتبط بذرتي هيدروجين H
- الكربون رقم 2– مرتبط بمجموعة $-CH_2CH_3$ وذرة هيدروجين H

بما أن الذرتين الموجودتين على ذرة الكربون رقم 1 هما نفساهما، فحتى لو تم رسم المجموعة $-CH_2CH_3$ على الكربون رقم 2 على الجهة المقابلة من الرابطة الثنائية، فلن يكون هناك فرق في الصيغة البنائية.

وبالتالي لا يمتلك 1 – بيوتين متشاكلات هندسية سيس وترانس.

الخطوة ٣: ارسم صيغة بنائية لـ 2 – بيوتين

تابع

مجددًا، فكر فيما إذا كانت هناك إمكانية لإيجاد صيغة بنائية مختلفة إذا تم تبديل الذرات أو المجموعات الموجودة على كل ذرة كربون في الرابطة الثنائية:

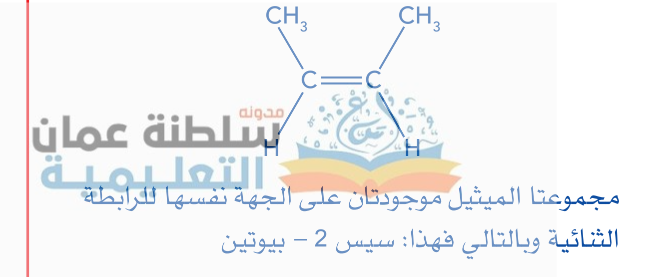
- الكربون رقم 1- مرتبط بمجموعة $-CH_3$ وذرة هيدروجين H
- الكربون رقم 2- مرتبط بمجموعة $-CH_3$ وذرة هيدروجين H

إن كل من ذرتي الكربون في الرابطة الثنائية متصلة بمجموعة ميثيل وذرة هيدروجين ما يسمح لـ 2 - بيوتين بالتشاكل الهندسي سيس/ترانس.

يمكن رسم صيغة بنائية أخرى عبر تبديل موقع مجموعة ميثيل وذرة هيدروجين على إحدى ذرتي الكربون في الرابطة الثنائية.

CH_3 H
C=C
1 2
H CH_3

الخطوة ٤: سم المتشاكلين الهندسيين ل 2 - بيوتين وفق ترتيب مجموعتي الميثيل (أو ذرتي الهيدروجين) على الجهة نفسها أو على الجهتين المتقابلتين للرابطة الثنائية.



مجموعتا الميثيل موجودتان على الجهة نفسها للرابطة الثنائية وبالتالي فهذا: سيس 2 - بيوتين

CH_3 H
C=C
H CH_3

مجموعتا الميثيل موجودتان على الجهتين المتقابلتين للرابطة الثنائية وبالتالي فهذا: ترانس 2 - بيوتين

التشاكل الضوئي (المتشاكلات الضوئية *enantiomers*)

إذا كان الجزيء يحتوي على ذرة كربون مرتبطة بأربع ذرات أو مجموعات ذرية مختلفة، يمكن لهذا الجزيء أن يكوّن متشاكلين فراغيَّين. ويمكن وصف ذرة الكربون هذه بأنها غير متماثلة وذلك لعدم وجود مستوى تماثل في جزيئها. ويسمى هذان المتشاكلان الفراغيان المختلفان **متشاكلين ضوئيَّين Enantiomers**، ويكون كل منهما صورة منعكسة للآخر في مرآة، ولا يمكن تركيب أحدهما فوق الآخر (الشكل ٨-١٩). وتسمى ذرة الكربون المرتبطة بأربع مجموعات مختلفة **المركز الكيرالي (غير متناظر) Chiral center** للجزيء.




الشكل ٨-١٩ هذا الزوج من الجزيئات يضم متشاكلين فراغيَّين، ويشار إليهما كمتشاكلين ضوئيَّين. وتُعدّ محاولة تركيب هذَين المتشاكلين أحدهما فوق الآخر مشابهة لعملية تركيب باطن كف اليد اليسرى فوق ظهر كف اليد اليمنى، بحيث يكون باطن الكفَّين نحو الأسفل. وهو أمر لا يمكن القيام به.

مصطلحات علمية

المتشاكلات الفراغية Stereoisomers: مركبات تمتلك جزيئاتها الذرات نفسها المرتبطة بعضها ببعض، لكنها تختلف في الترتيب الفراغي لذراتها، بحيث لا يمكن تركيب الجزيئات بعضها فوق بعض.

التشاكل الهندسي (سيس- ترانس) *Cis/trans* (geometric) isomerism: نجده في مركبات غير مشبعة أو حلقية تمتلك الصيغة الجزيئية نفسها والترتيب نفسه للذرات، ولكن أشكالها الهندسية تكون مختلفة.

المتشاكلات الضوئية Enantiomers: زوج من الجزيئات النشطة ضوئيًا وكل منهما صورة معكوسة للآخر في مرآة، ولا يمكن تركيب أحدهما فوق الآخر.

المركز الكيرالي (غير متناظر) Chiral center: ذرة كربون مرتبطة بأربع ذرات أو مجموعات ذرية مختلفة. وهذا يسمح بوجود المتشاكلات الضوئية.

مهارات عمليّة ٨-١

نمذجة المتشاكلات الضوئية

باستخدام مجموعة نماذج جزيئية، خذ كرة سوداء تمثل ذرة كربون، واربطها بأربع كرات (تمثل أربع ذرات) مختلفة في ألوانها. ثم اجعل نموذجًا لجزيء آخر يكون صورة للجزيء الأول في مرآة، باستخدام كرات لها الألوان نفسها. حاول الآن تركيب النموذجَين أحدهما فوق الآخر بحيث تتطابق كل ذرة مع مثيلتها. هل يمكن القيام بذلك؟

مرآة

مثال

٨. ارسم التمثيل ثلاثي الأبعاد للمتشاكلات الضوئية لـ 1 – بيوتانول ولـ 2 – بيوتانول إن وجدت.

الحلّ:

الخطوة ١: ارسم الصيغة البنائية لكل من 1 – بيوتانول و2–بيوتانول.

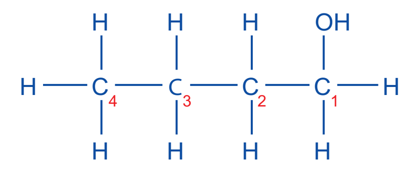
```
     H    H    H    OH
     |    |    |    |
H —  C —  C —  C —  C — H
     |    |    |    |
     H    H    H    H
```

1–بيوتانول

```
     H    H    OH   H
     |    |    |    |
H —  C —  C —  C —  C — H
     |    |    |    |
     H    H    H    H
```

2–بيوتانول

الخطوة ٢: ابحث عن ذرة كربون مرتبطة بأربع مجموعات أو ذرات مختلفة في 1 – بيوتانول.



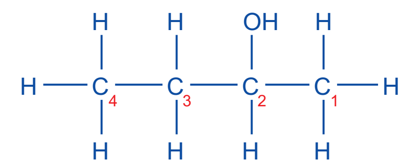
بالنسبة إلى 1–بيوتانول:

- الكربون رقم 1 مرتبط بمجموعة $CH_3CH_2CH_2-$ ومجموعة $-OH$ لكنه مرتبط أيضًا بذرتي H
- الكربون رقم 2 مرتبط بمجموعة $-CH_2OH$ ومجموعة CH_3CH_2- لكنه مرتبط أيضًا بذرتي H
- الكربون رقم 3 مرتبط بمجموعة $-CH_2CH_2OH$ ومجموعة CH_3- لكنه مرتبط أيضًا بذرتي H
- الكربون رقم 4 مرتبط بمجموعة $-CH_2CH_2CH_2OH$ لكنه مرتبط أيضًا بثلاث ذرات H

لا يمتلك 1 – بيوتانول أي ذرة كربون مرتبطة بأربع مجموعات أو ذرات مختلفة وبالتالي لا يمتلك 1 – بيوتانول أي متشاكلات ضوئية

تابع

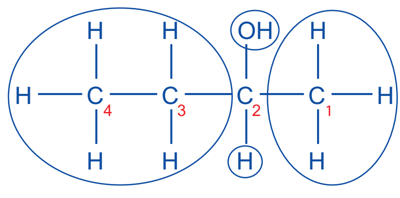
الخطوة ٣: ابحث عن ذرة كربون مرتبطة بأربع مجموعات أو ذرات مختلفة في 2-بيوتانول.



بالنسبة إلى 2 – بيوتانول:

- الكربون رقم 1 مرتبط بمجموعة $CH_3CH_2CH(OH)-$ لكنه مرتبط أيضًا بثلاث ذرات H
- الكربون رقم 2 مرتبط بمجموعة $OH-$ و مجموعة CH_3- وذرة H ومجموعة CH_3CH_2-.
- الكربون رقم 3 مرتبط بمجموعة $CH_3CH(OH)-$ ومجموعة CH_3- لكنه مرتبط أيضًا بذرتي H
- الكربون رقم 4 مرتبط بمجموعة $CH_2CH(OH)CH_3-$ لكنه مرتبط أيضًا بثلاث ذرات H

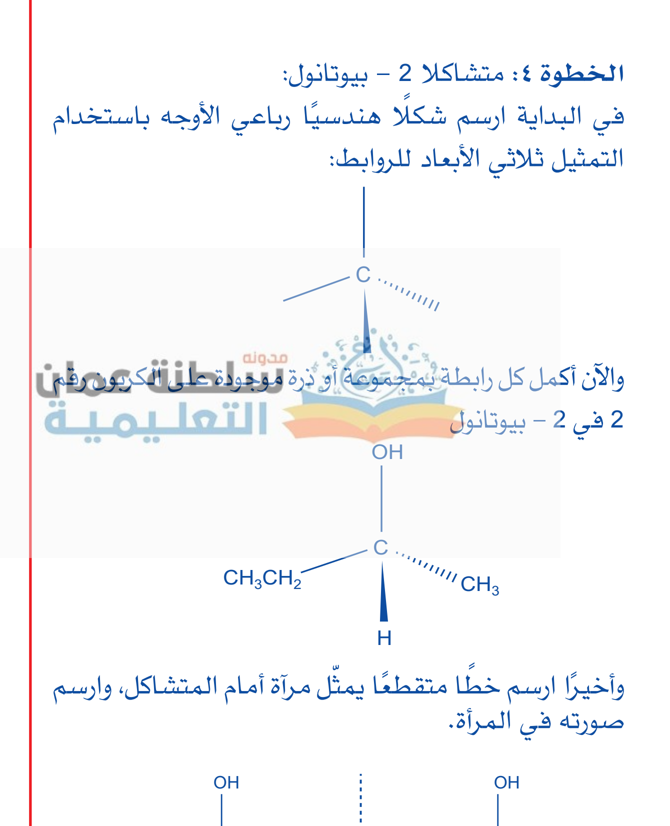
الكربون رقم 2 مرتبط بأربع مجموعات/ذرات مختلفة وبالتالي فهو مركز كيرالي.



يمتلك 2 – بيوتانول متشاكلين ضوئيين.

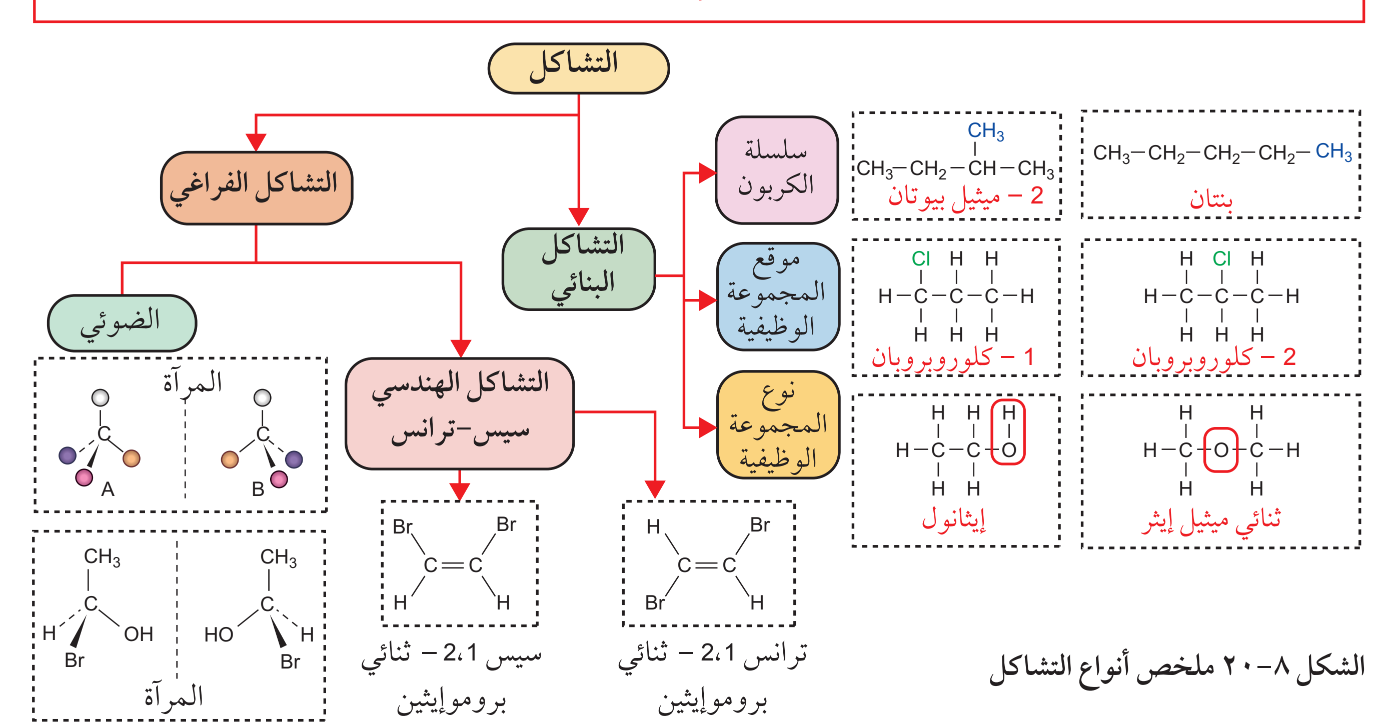
الخطوة ٤: متشاكلا 2 – بيوتانول:

في البداية ارسم شكلًا هندسيًا رباعي الأوجه باستخدام التمثيل ثلاثي الأبعاد للروابط:



والآن أكمل كل رابطة بمجموعة أو ذرة موجودة على الكربون رقم 2 في 2 – بيوتانول

وأخيرًا ارسم خطًا متقطعًا يمثّل مرآة أمام المتشاكل، وارسم صورته في المرآة.



الشكل ٨–٢٠ ملخص أنواع التشاكل

سؤال

٥ أ. ١. ارسم الصيغة الموسعة لكل من المتشاكلين الفراغيين لـ 2 − بنتين.
٢. حدد أي المتشاكلين هو Z وأيهما E.

ب. ارسم المتشاكلين سيس/ترانس لـ 1 − برومو − 2 − كلوروايثين.

ج. يمتلك الجزيء CHBrClF متشاكلين ضوئيين.
١. اكتب اسم الجزيء CHBrClF.
٢. ارسم الصيغة الموسّعة ثلاثية الأبعاد (3D) لكل من المتشاكلين الضوئيين.

د. ١. أي من الجزيئات الآتية يمتلك متشاكلات ضوئية؟
أ. $H_2C{=}CHCH_3$
ب. $(CH_3)_2C{=}CHCHClCH_3$
ج. $(CH_3)_3CBr$
د. $CH_3CH_2CH_2CHCl_2$
٢. اشرح سبب عدم امتلاك الجزيء $CH_3CH_2CH(OH)CH_2CH_3$ أي متشاكل ضوئي.

٨-٥ أنواع تفاعلات المركبات العضوية وآلية حدوثها

أنواع التفاعلات العضوية

١. **تفاعلات الاستبدال (الإحلال) Substitution reactions** تتضمن استبدال ذرة واحدة أو مجموعة ذرات في جزيء ما بأخرى تحل محلها. على سبيل المثال، يتمّ استبدال ذرة هيدروجين (H) في جزيء (CH_4) بذرة كلور (Cl). بوساطة الأشعة فوق البنفسجية وفق المعادلة الآتية:

$$CH_4 + Cl{-}Cl \xrightarrow{UV} CH_3Cl + H{-}Cl$$

٢. **تفاعلات الإضافة Addition reactions** تكوين مادة ناتجة واحدة من تفاعل جزيئات مادتَين متفاعلتَين أو أكثر. تحدث تفاعلات الإضافة في المركبات غير المشبعة حيث تتم إضافة ذرات إلى رابطة ثنائية أو ثلاثية.
ومثال على ذلك هو تفاعل الإضافة الذي يحدث بين ألكين ما والبروم وفق المعادلة الآتية:

$$H_2C{=}CH_2 + Br{-}Br \rightarrow H{-}CHBr{-}CHBr{-}H$$

٣. **تفاعلات الحذف Elimination reactions** ينتج من إزالة (نزع) جزيء صغير من جزيء أكبر لمادة متفاعلة. ومثال على ذلك هو إزالة الماء من كحول ما بوساطة حمض الكبريتيك المركز وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2{-}O{-}H \xrightarrow[\text{مركّز}]{H_2SO_4} H_2C{=}CH_2 + H_2O$$

٤. **التحلل المائي Hydrolysis** هو تفاعل جزيء عضوي مع الماء. ويمكن زيادة سرعة هذا النوع من التفاعلات بإضافة حمض أو مادة قلوية. على سبيل المثال، التحلل المائي لهالوجينوألكان بوساطة الماء لإنتاج كحول وفق المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Br + H_2O \rightarrow CH_3CH_2OH + HBr$$

وتكون عملية التحلل المائي أسرع بوجود مادة قلوية، وهي تعطي مواد ناتجة مختلفة قليلًا كما توضح المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Br + NaOH(aq) \rightarrow CH_3CH_2OH + NaBr$$

٥. **تفاعلات الأكسدة Oxidation reactions** تفاعل يتم خلاله إضافة أكسجين أو إزالة إلكترونات أو ازدياد عدد التأكسد لمادة ما؛ ويشير هذا في الكيمياء العضوية إلى تفاعل تتم فيه إضافة ذرات أكسجين إلى جزيء ما أو إزالة ذرات هيدروجين من جزيء ما.

ومثال على ذلك هو أكسدة الإيثين إلى 2،1 - إيثان ثنائي الكحول ويسمى (2،1 - إيثان دايول) باستخدام محلول حمضي من منجنات (VII) البوتاسيوم وفق المعادلة الآتية:

$$CH_2{=}CH_2 + [O] + H_2O \rightarrow HOCH_2CH_2OH$$

لاحظ أن الرمز [O] يستخدم لتبسيط المعادلة الكيميائية التي تصف تفاعلات الأكسدة. حيث إن [O] يمثل ذرة أكسجين من العامل المؤكسد. ويُستخدم هذا بشكل شائع، ولكن يجب أن تبقى المعادلة موزونة، تمامًا كأيّة معادلة كيميائية عادية.

٦. **تفاعلات الاختزال Reduction reactions** هي عكس تفاعلات الأكسدة، يتم خلال تفاعل الاختزال إزالة أكسجين أو إضافة إلكترونات أو نقصان عدد التأكسد لمادة ما؛ ويشير هذا في الكيمياء العضوية إلى تفاعل تتم فيه إزالة ذرات أكسجين من جزيء ما، أو إضافة ذرات هيدروجين (الهدرجة) إلى جزيء ما. على سبيل المثال تفاعل الإيثين مع الهيدروجين وفق المعادلة الآتية:

$$CH_2{=}CH_2 + H{-}H \rightarrow CH_3CH_3$$

في العديد من الحالات، يمكن تصنيف التفاعلات العضوية في أكثر من نوع واحد من التفاعلات. فعلى سبيل المثال، يُصنف تفاعل الإيثين مع الهيدروجين بأنه تفاعل اختزال، ولكنه يُعدّ أيضًا تفاعل إضافة. كما يمكن اعتبار التحلل المائي للبروموإيثان (مع الماء) تفاعل استبدال أيضًا.

مصطلحات علمية

تفاعل الاستبدال (الإحلال) Substitution reaction: تفاعل يتضمن استبدال ذرة أو مجموعة ذرات بأخرى تحل محلها في جزيء ما.

تفاعل الإضافة Addition reaction: تفاعل عضوي يندمج فيه جزيئان أو أكثر لتكوين جزيء ناتج واحد.

تفاعل الحذف Elimination reaction: تفاعل تتم فيه إزالة (نزع) جزيء صغير، مثل (H_2O) أو (HX)، من جزيء عضوي (حيث إن X تمثل ذرة هالوجين).

التحلل المائي Hydrolysis: هو تفاعل جزيء عضوي مع الماء، ويؤدي عادة إلى حدوث استبدال أو حذف.

تفاعل الأكسدة Oxidation reaction: تفاعل يتم خلاله إضافة أكسجين أو إزالة إلكترونات أو ازدياد عدد التأكسد لمادة ما.

تفاعل الاختزال Reduction reaction: تفاعل يتم خلاله إزالة أكسجين أو إضافة إلكترونات أو نقصان عدد التأكسد لمادة ما.

أنواع التفاعلات العضوية

- **تفاعلات الاستبدال (الإحلال)**: تتضمن استبدال ذرة أو مجموعة ذرات بأخرى تحلّ محلها في جزيء ما.
  - $CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$
- **تفاعلات الإضافة**: يندمج فيها جزيئان أو أكثر لتكوين جزيء ناتج واحد.
  - $C_2H_4 + Br_2 \rightarrow C_2H_4Br_2$
- **تفاعلات الحذف**: يتم فيها إزالة (نزع) جزيء صغير مثل (H_2O) من جزيء عضوي.
  - $C_2H_5OH \xrightarrow{H_2SO_4\ \text{مركّز}} C_2H_4 + H_2O$
- **التحلل المائي**: تفاعل جزئ عضوي مع الماء (تنكسر بعض الروابط في الجزيء العضوي وفي الماء).
  - $C_2H_5Br + H_2O \rightarrow C_2H_5OH + HBr$
  - تفاعل البروموإيثان مع الماء يمكن تصنيفه على أنه: استبدال / تحلل مائي
- **تفاعلات الأكسدة**: تفاعل يتم فيه:
  - كسب: ذرات أكسجين إلى جزيء ما
  - فقد: ذرات هيدروجين من جزيء ما
  - $CH_2{=}CH_2 + [O] + H_2O \rightarrow CH_2(OH)CH_2(OH)$
- **تفاعلات الاختزال**: تفاعل يتم فيه:
  - كسب: ذرات هيدروجين إلى جزيء ما
  - فقد: ذرات أكسجين من جزيء ما
  - $CH_2{=}CH_2 + H_2 \rightarrow CH_3CH_3$
  - تفاعل الإيثين مع الهيدروجين يصنف على أنه: اختزال / إضافة

ملاحظة: هناك حالات يمكن فيها تصنيف التفاعلات العضوية في أكثر من نوع واحد من التفاعلات. (مثال: تفاعل البروموإيثان مع الماء؛ مثال: تفاعل الإيثين مع الهيدروجين)

الشكل ٨-٢١ ملخص للأنواع المختلفة من التفاعلات العضوية

سؤال

٦ حدّد أنواع التفاعلات الآتية: استبدال، إضافة، حذف، تحلل مائي، أكسدة أو اختزال:

أ. $C_3H_7I + H_2O \longrightarrow C_3H_7OH + HI$

ب. $C_3H_6 + H_2 \longrightarrow C_3H_8$

ج. $C_2H_5Br \longrightarrow C_2H_4 + HBr$

د. $C_2H_4 + H_2O \longrightarrow C_2H_5OH$

هـ. $C_2H_6 + Cl_2 \longrightarrow C_2H_5Cl + HCl$

و. $C_3H_6 + [O] + H_2O \longrightarrow C_3H_8O_2$



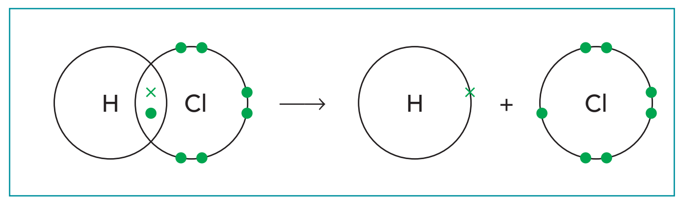
آليات حدوث التفاعلات العضوية

عند شرح التفاعلات العضوية يوضح التفاعل الكلي سلسلة من الخطوات تسمى آلية حدوث التفاعل Reaction mechanism. حيث إن التفاعلات العضوية تتضمن كسر روابط كيميائية وتكوينها. وتوجد طريقتان يمكن من خلالهما كسر الروابط التساهمية، هما:

- الانشطار (التفكك) المتجانس
- الانشطار (التفكك) غير المتجانس

الانشطار المتجانس

في هذا النوع من كسر الروابط، تنفصل الذرتان الموجودتان على طرفَي الرابطة، ومع كل منهما إلكترون واحد من زوج الإلكترونات المشترك الذي يكوّن الرابطة التساهمية. وهذا ما يوضحه الشكل (٨-٢٢) وذلك باستخدام جزيء كلوريد الهيدروجين كمثال بسيط.



الشكل ٨-٢٢ الانشطار المتجانس لرابطة تساهمية.

وتسمى الجسيمات الناتجة عند حدوث تفكك متجانس للرابطة جذورًا حرة Free radicals. ويمكننا توضيح تكوّن الجذور الحرة باستخدام المعادلة الآتية:

$$HCl \longrightarrow H\bullet + Cl\bullet$$

حيث إن •H و •Cl يمثلان جذرَين حرَّين. ويمتلك كل جذر حر إلكترونًا واحدًا غير مرتبط (يتم تمثيله بوساطة نقطة)، ويكون الجذر الحر ذا نشاط كيميائي عالٍ جدًا.

ويمكن توضيح تفاعل غازَي الميثان والكلور وفق الخطوات الآتية:

- خطوة الابتداء Initiation، وهي تحتاج إلى طاقة لكسر الرابطة التساهمية، الأمر الذي يؤدي إلى تكوين جذرَين حرَّين، كما توضح المعادلة الآتية:

$$Cl_2(g) \longrightarrow Cl\bullet + Cl\bullet$$

مصطلحات علمية

آلية حدوث التفاعل Reaction mechanism: سلسلة من الخطوات التي تصف ما يحدث في سياق التفاعل الكلي.

الجذر الحرّ Free radical: جسيم يحتوي على إلكترون واحد غير مرتبط.

خطوة الابتداء Initiation step: تكوين الجذور الحرة من خلال الانشطار المتجانس.

مصطلحات علمية

خطوة الانتشار Propagation step: إنتاج مزيد من الجذور الحرة من خلال تفاعل الجذور الحرة مع جزيئات أخرى.

خطوة الإيقاف (الانتهاء) Termination step: تفاعل الجذور الحرة واندماجها فيما بينها لتكوين جزيء.

- خطوات **الانتشار Propagation** تهاجم الجذور المتكوّنة جزيئات المادة المتفاعلة، مولّدة بذلك المزيد من الجذورة الحرة. ويمكن النظر إلى هذه الخطوات كسلسلة تفاعل، تتوقف فقط عندما تتفاعل الجذور الحرة فيما بينها. توضح المعادلتان أدناه سلسلة انتشار لتفاعل الجذور الحرة:

$$Cl\bullet + CH_4 \longrightarrow HCl + CH_3\bullet$$

$$CH_3\bullet + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + Cl\bullet$$

- خطوة **الإيقاف (الانتهاء) Termination** يتفاعل جذران حرّان معًا ليكوّنا جزيئًا، من دون إنتاج جذور حرة جديدة. وتوضح المعادلة الآتية هذه الخطوة:

$$CH_3\bullet + Cl\bullet \longrightarrow CH_3Cl$$

الانشطار غير المتجانس

يتضمن النوع الثاني من كسر الروابط كسرًا غير متماثل للرابطة التساهمية. ففي الانشطار غير المتجانس، تحصل الذرة ذات السالبية الكهربائية الأكبر على كلا إلكترونَي الرابطة التساهمية. ويمكننا استخدام كلوريد الهيدروجين مرة أخرى لتوضيح ذلك (الشكل ٨-٢٣).

الشكل ٨-٢٣ الانشطار غير المتجانس لرابطة تساهمية.

ويمكننا توضيح هذا النوع من كسر الرابطة في صورة معادلة، حيث يساعد **سهم صغير منحن Curly arrow** على توضيح حركة زوج إلكترونات الرابطة على النحو الآتي:

$$H^{\delta+}—Cl^{\delta-} \longrightarrow H^+ + :Cl^-$$

وتكون حركة زوج الإلكترونات دائمًا في اتجاه الذرة الأكثر سالبية كهربائية، الأمر الذي يعني أنها تبتعد عن ذرة الهيدروجين (H) وتتجه نحو ذرة الكلور (Cl). ويمكن توضيح الذرة الأكثر سالبية كهربائية بوضع الرمز (δ−) بجانبها ووضع الرمز (δ+) بجانب الذرة الأقل سالبية كهربائية.

ويمكن أن يتضمن الانشطار غير المتجانس الرابطة C–X، حيث تكون X ذرة ذات سالبية كهربائية أكبر من الكربون. على سبيل المثال:

$$H_3C^{\delta+}—Br^{\delta-} \longrightarrow CH_3^+ + :Br^-$$

وفي هذه الحالة، عندما تتكسر الرابطة، سوف تأخذ ذرة (Br) إلكترونَي الرابطة المشترَكين، مكوّنة أنيون البروميد (وهو أيون يمتلك شحنة سالبة). الأمر الذي يعني أن مجموعة الميثيل ينقصها إلكترون واحد، فينتج من ذلك تكوّن أيون يمتلك شحنة موجبة. ويسمى هذا النوع من أيونات الألكيل **أيون كربوني موجب Carbocation** أو كاتيون كربوني.

وتُعدّ الأيونات الكربونية الموجبة مثالًا على جسيمات تسمى **الإلكتروفيل (المحب للإلكترونات) Electrophile**. وعندما يكسب الإلكتروفيل زوجًا من الإلكترونات، ينتج من ذلك تكوّن رابطة تساهمية جديدة.

سوف تتعرف أيضًا على **النيوكليوفيلات (المحب للنواة) Nucleophiles** عند دراسة التفاعلات العضوية وآليات حدوثها. والنيوكليوفيلات جسيمات غنية بالإلكترونات؛ فهي تحمل شحنة سالبة (–) أو شحنة سالبة جزئية (δ^-). وعندما يمنح النيوكليوفيل زوجًا من الإلكترونات، فسيؤدي ذلك إلى تكوّن رابطة تساهمية جديدة مع ذرة لديها **نقص في الإلكترونات Electron deficient** وتتعرض للهجوم من النيوكليوفيل.

مصطلحات علمية

الأيون الكربوني الموجب Carbocation: مجموعة ألكيل تحمل شحنة موجبة واحدة على إحدى ذرات الكربون فيها، مثل CH_3^+.

الإلكتروفيل (المحب للإلكترونات) Electrophile: جسيم (ذرة أو جزيء أو أيون) يمكنه أن يسلك كمستقبِل لزوج من الإلكترونات.

النيوكليوفيل (المحب للنواة) Nucleophile: جسيم (ذرة أو جزيء أو أيون) يمكنه أن يسلك كمانح لزوج من الإلكترونات.

نقص في الإلكترونات Electron deficient: الحالة التي يكون فيها مستوى الطاقة الخارجي لجسيم ما (ذرة أو جزيء أو أيون) غير مكتمل بالإلكترونات.

سهم منحنٍ Curly arrow: يمثل حركة انتقال زوج من الإلكترونات في آلية حدوث التفاعل؛ وهو ينطلق من النيوكليوفيل نحو الإلكتروفيل.

سؤال

٧) أ. اكتب معادلة توضح الانشطار المتجانس لرابطة Br–Br في جزيء البرومين (Br_2).

ب. اكتب معادلة توضح الانشطار غير المتجانس لرابطة C–Cl الموجودة في جزيء الكلوروميثان. ضمّن إجابتك السهم المنحني لإظهار انتقال زوج إلكترونات الرابطة.

ج. أي جسيم من الجسيمات الآتية يمكن أن يسلك كنيوكليوفيل؟ اشرح إجابتك.

أ. H_2

ب. H^+

ج. OH^-

د. أي جسيم من الجسيمات الآتية يمكن أن يسلك كإلكتروفيل؟ اشرح إجابتك.

أ. H_2

ب. H^+

ج. OH^-

ملخّص

يمكن تمثيل أيّ جزيء عضوي باستخدام:

- الصيغة الأولية
- الصيغة الجزيئية
- الصيغة البنائية
- الصيغة الموسّعة
- الصيغة الهيكلية
- الصيغة الموسعة ثلاثية الأبعاد (3D)

تتضمن السلاسل المتجانسة المهمة: الألكانات، والألكينات، والكحولات، والهالوجينوألكانات.

يستخدم الكيميائيون نظامًا لتسمية المركبات العضوية يعتمد على عدد ذرات الكربون الموجودة في السلسلة الكربونية الأطول والسلاسل المتجانسة.

يمكن شرح أشكال وزوايا الروابط في الجزيئات العضوية بوساطة الروابط سيجما (σ) و باي (π) التي توجد بين ذرات الكربون، وتهجين الأفلاك الذرية لذرات الكربون.

يوجد نوعان من المتشاكلات: المتشاكلات البنائية والمتشاكلات الفراغية.

تمتلك المتشاكلات البنائية الصيغة الجزيئية نفسها ولكنها تختلف في صيغها البنائية. ويمكن تصنيف أنواع التشاكل وفق الآتي:

- تشاكل موقع المجموعة الوظيفية.
- تشاكل نوع المجموعة الوظيفية.
- تشاكل السلسلة الكربونية.

تمتلك المتشاكلات الفراغية الصيغة الجزيئية نفسها، ولكنها تختلف في ترتيب ذراتها في الفراغ.

- تنتج المتشاكلات الهندسية سيس/ترانس من الدوران المقيّد (الممنوع) حول الرابطة الثنائية C=C.
- تحتوي المتشاكلات الضوئية على مركز كيرالي (ذرة كربون مرتبطة بأربع ذرات أو مجموعات من الذرات المختلفة) فينتج من ذلك جزيئان، يكون أحدهما صورة للآخر في مرآة ولا يمكن تركيب أحدهما فوق الآخر.

تتضمن التفاعلات العضوية المهمة: الإضافة، والحذف، والاستبدال (الإحلال)، والتحليل المائي، والأكسدة، والاختزال.

تحدث التفاعلات العضوية ضمن سلسلة من الخطوات تعرف بآلية حدوث التفاعل، حيث تتكسر بعض الروابط وتتكوّن روابط أخرى. ويمكن أن تتكسر الروابط بشكل متجانس (فتتوزع الإلكترونات المشتركة بشكل متساو بين الذرات) أو بشكل غير متجانس (فتكسب إحدى الذرات الإلكترونات المشتركة وتفقدها الذرة الأخرى).

في آلية حدوث التفاعل تتضمن الجسيمات النشطة كيميائيًا الإلكتروفيلات (جسيمات مستقبلة لزوج من الإلكترونات)، والنيوكليوفيلات (جسيمات مانحة لزوج من الإلكترونات)، والجذور الحرة (جسيمات تمتلك إلكترونًا غير مرتبط).

تتم آليات حدوث التفاعلات التي تتضمن جذورًا حرة وفق ثلاث خطوات:

- الابتداء: تكوين الجذور الحرة من خلال الانشطار المتجانس.
- الانتشار: إنتاج مزيد من الجذور الحرة من خلال تفاعل الجذور الحرة مع جزيئات أخرى.
- الإيقاف: تفاعل الجذور الحرة واندماجها فيما بينها لتكوين جزيء.

أسئلة نهاية الوحدة

١ **أ.** ما المركبات التي لا يلزم ترقيمها عند التسمية؟



أ. $CH_3CH_2CH_2OH$

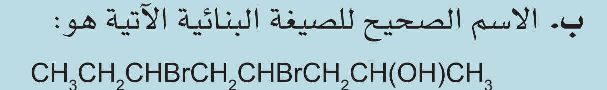


ب. $CH_3CH{=}CH_2$

ج. $CH_3CHBrCH_2CH_3$

د. $CH_3CHClCH_2CH_2Cl$

ب. الاسم الصحيح للصيغة البنائية الآتية هو:



$CH_3CH_2CHBrCH_2CHBrCH_2CH(OH)CH_3$



أ. 5,3 – ثنائي برومو – 1 – أوكتانول

ب. 5,3 – ثنائي برومو – 6 – أوكتانول

ج. 6,4 – ثنائي برومو – 2 – أوكتانول

د. 6,4 – ثنائي برومو – 7 – أوكتانول

ج. سمِّ الصيغة البنائية الآتية:

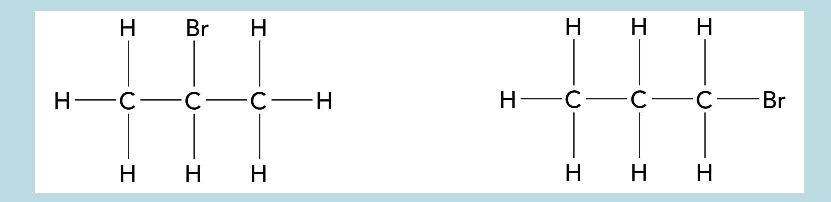
```
   H              CH3  H
   |               |   |
H—C—C═C—C—C—H
   |   |   |   |   |
   H  CH3  H  CH3  H
```

د. ارسم الصيغتَين البنائية والموسعة للمركب 7 – إيثيل – 6,6,2 – ثلاثي ميثيل – 3 – ديكانول.

هـ. سمِّ الصيغة الهيكلية الآتية:

و. ارسم الصيغة الهيكلية للمركب 7,7,5,3,2,1 – سداسي كلورو – 3 – بروبيل – 1 – هبتين حلقي (سايكلوهبتين)

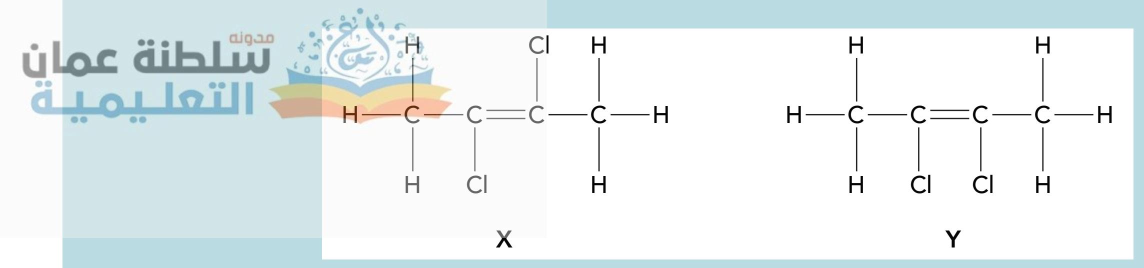
٢ **أ.** إلى أيّ نوع من المتشاكلات ينتمي الجزيئان الآتيان:



تابع

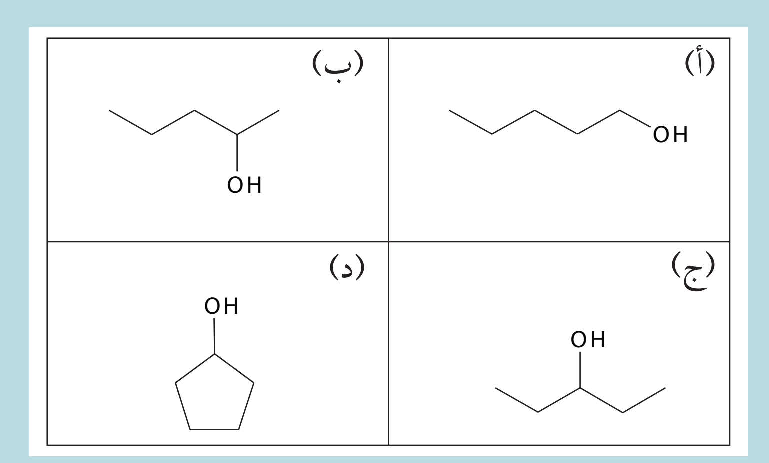
أ. متشاكلات السلسلة
ب. متشاكلات ضوئية
ج. متشاكلات المجموعة الوظيفية
د. متشاكلات الموقع.

ب. الجزيئان X و Y هما متشاكلان سيس/ترانس.



١. سمِّ الجزيئَين X و Y.
٢. ما الذي يسمح لتركيبَي X و Y بأن يكونا متشاكلين هندسيَّين سيس/ترانس؟
أ. كلّ من الجزيئَين صورة في المرآة للآخر ولا يمكن تركيب أحدهما فوق الآخر.
ب. تقيّد الرابطة الثنائية حريّة دوران ذرات الكربون.
ج. المجموعات الوظيفية موجودة في مواقع مختلفة على السلسلة.
د. يمتلك الجزيئان مجموعات وظيفية مختلفة.

ج. ١. أيّ جزيء من الجزيئات الآتية يحتوي مركزًا كيراليًا؟



٢. ارسم الجزيء الذي اخترته في الجزيئة ج ١ ومتشاكله الضوئي في شكل صيغة ثلاثية الأبعاد (3D).

د. ارسم الصيغ الموسعة للألكينات جميعها التي تمتلك الصيغة الجزيئية ($C_3H_4Cl_2$).

هـ. ارسم الصيغ الموسعة للمتشاكلات جميعها التي تمتلك الصيغة الجزيئية ($C_4H_{10}O$).

تابع

٣ يُستخدم المركب ميثيل بروبان، $CH_3CH(CH_3)CH_3$، بشكل شائع في الصناعات البتروكيميائية.

أ. ١. سمِّ السلسلة المتجانسة التي ينتمي إليها الميثيل بروبان.

٢. اكتب الصيغة الأولية للميثيل بروبان.

٣. اكتب الصيغة الجزيئية للميثيل بروبان.

٤. ارسم الصيغة الموسعة للميثيل بروبان.

٥. ارسم الصيغة الهيكلية للميثيل بروبان.



ب. تمتلك كل ذرة كربون في المركب ميثيل بروبان أفلاكًا ذرية مهجّنة.

١. ما نوع التهجين الموجود في جزيء الميثيل بروبان؟

أ. تهجين من نوع sp.

ب. تهجين من نوع sp^2.

ج. تهجين من نوع sp^3.

٢. ما قيم زوايا الروابط الموجودة في جزيء الميثيل بروبان؟

ج. عند تمرير الميثيل بروبان فوق حفاز ساخن من أكسيد الألومنيوم، يمكن أن يتحوّل إلى ميثيل بروبين.

١. إلى أيّ سلسلة متجانسة من المركبات العضوية ينتمي الميثيل بروبين؟

٢. صف نوعي الرابطة اللتَين تكوّنان الرابطة C=C الموجودة في الميثيل بروبين.

٣. يمكن إعادة تحويل الميثيل بروبين مرة أخرى إلى ميثيل بروبان؛ وذلك بتسخينه مع غاز الهيدروجين بوجود عامل حفاز من البلاتين/النيكل وفق المعادلة الآتية:

$$H_2C{=}C(CH_3)CH_3 + H_2 \xrightarrow{Pt / Ni} CH_3CH(CH_3)CH_3$$

حدد نوعَي التفاعل اللذَين يمكن أن يصنف ضمنهما هذا التفاعل.

أ. أكسدة

ب. حذف

ج. تحلل مائي

د. إضافة

هـ. اختزال

د. ١. ارسم الصيغة الموسعة للمتشاكل البنائي للميثيل بروبين.

٢. اكتب الصيغة الأولية لكلا المتشاكلين.

٤ يمتلك المركب الكربوني P النسب المئوية الآتية: كربون = 85.7%، وهيدروجين = 14.3%، وكتلته الجزيئية النسبية تساوي 56.

أ. ١. احسب صيغته الأولية

٢. احسب صيغته الجزيئية.

تابع

ب. اكتب أسماء المتشاكلات غير الحلقية للمركب P، وصيغها الموسعة والتي تمتلك الصفات المميزة الآتية:

١. سلسلة خطية.

٢. سلسلة جانبية (فرعية).

٥ **أ.** ينتج من تفاعل الميثان مع البروم كل من البروموميثان وبروميد الهيدروجين.

ويمكن توضيح آلية حدوث التفاعل وفق الخطوات الآتية:



الخطوة ١: $Br_2 \longrightarrow Br\bullet + Br\bullet$

الخطوة ٢: $Br\bullet + CH_4 \longrightarrow HBr + CH_3\bullet$

الخطوة ٣: $CH_3\bullet + Br_2 \longrightarrow CH_3Br + Br\bullet$

الخطوة ٤: $CH_3\bullet + Br\bullet \longrightarrow CH_3Br$

١. أيّ من خطوات آلية حدوث التفاعل هي خطوة الابتداء؟

أ. الخطوة ١

ب. الخطوة ٢

ج. الخطوة ٣

د. الخطوة ٤

٢. ما الخطوتان اللتان تُوضحان أن آلية حدوث التفاعل هي سلسلة تفاعل؟

أ. الخطوتان ١ و ٢

ب. الخطوتان ٢ و ٣

ج. الخطوتان ٣ و ٤

د. الخطوتان ٤ و ١

٣. حدد نوع الجسيمات النشطة كيميائيًا $Br\bullet$، و $CH_3\bullet$. اشرح إجابتك.

٤. تتضمن آلية حدوث التفاعل انشطارًا متجانسًا للرابطة. اشرح معنى ذلك، مستخدمًا الخطوة ١ كمثال.

ب. يمكن أن يتفاعل البروموميثان مع أيونات الهيدروكسيد لإنتاج الميثانول وأيونات البروميد.

ويمكن توضيح آلية حدوث هذا التفاعل باستخدام الأسهم المنحنية وفق الآتي:

$$H_3C^{\delta+}\text{—}Br^{\delta-} + :OH^- \longrightarrow H_3C\text{—}OH + :Br^-$$

تابع

١. ما نوع التفاعل الموضح في آلية التفاعل هذه؟
   أ. إضافة
   ب. حذف
   ج. تحلل مائي
   د. استبدال (إحلال)



٢. ما نوع الجسيم النشط كيميائيًا OH^-.
   أ. أيون كربوني موجب
   ب. إلكتروفيل
   ج. جذر حر
   د. نيوكليوفيل

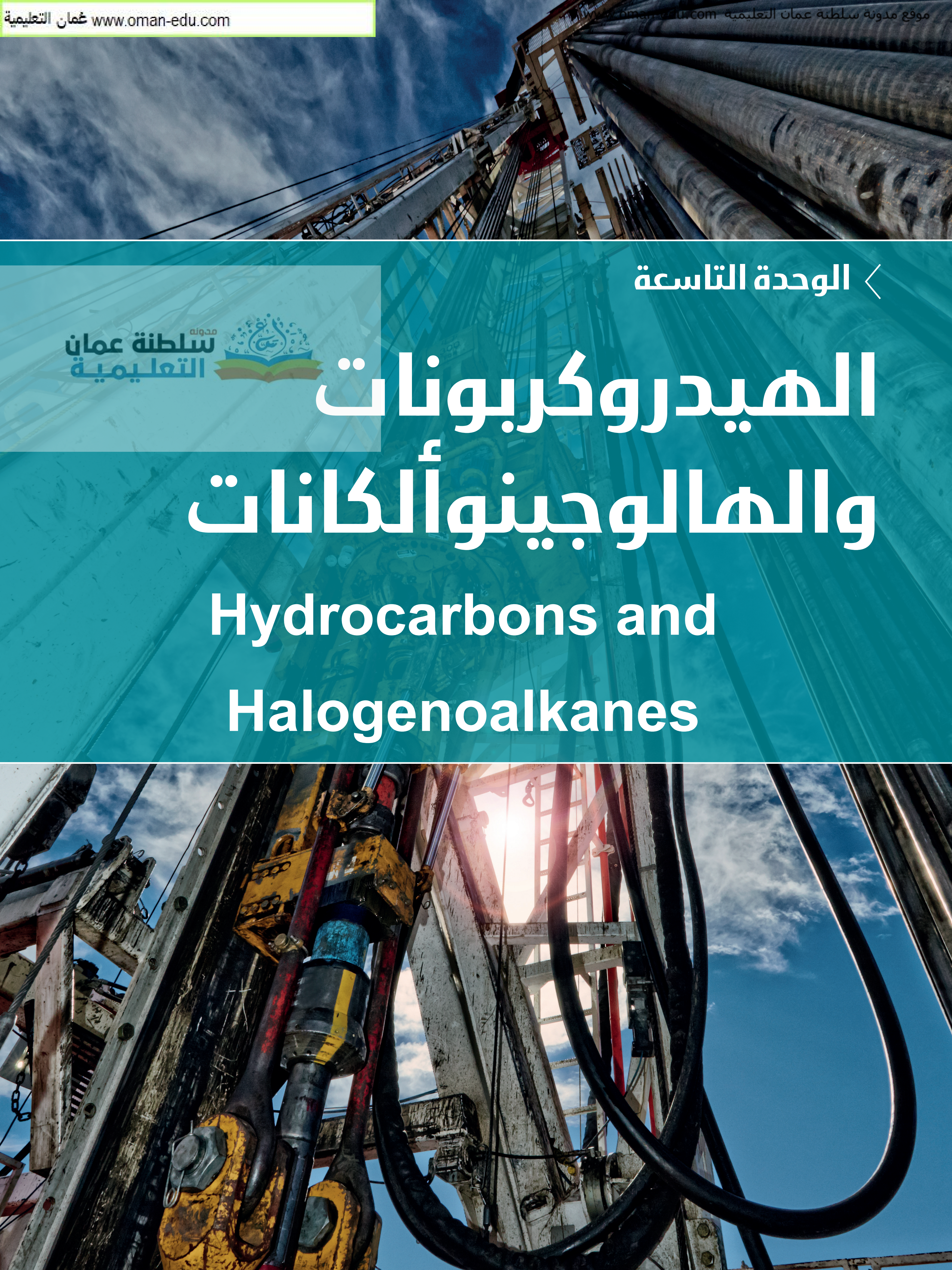
٣. ماذا تمثل الأسهم المنحنية في آلية حدوث التفاعل أعلاه؟

٤. حدد أي نوع من نوعَي انشطار الرابطة تمّ توضيحه عندما انكسرت الرابطة C–Br.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة هذه الوَحدة، أكمل الجدول كالآتي.

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أفسّر الصيغ العامة، والبنائية والموسعة والهيكلية للسلاسل المتجانسة جميعها التي تمّ تقديمها في هذه الوحدة، وأسمّيها وأستخدمها.	٨-١، ٨-٢			
أستنتج الصيغة الجزيئية أو الأولية لمركب ما، إذا ما تمّ إعطاء صيغته البنائية أو الموسعة، أو الهيكلية.	٨-١			
أصف أشكال الجزيئات العضوية وزوايا الروابط الموجودة فيها، وأشرحها في ضوء أفلاكها الذرية المهجنة sp و sp^2 وsp^3، وفي ضوء الروابط سيجما (σ) وباي (π). الموجودة بين ذراتها.	٨-٣			
أصف الأنواع المختلفة للتشاكل البنائي (موقع ونوع المجموعة الوظيفية والسلسلة الهيدروكربونية) وأشرحها.	٨-٤			
أشرح التشاكل الفراغي وأحدده، بما في ذلك التشاكل الهندسي سيس/ترانس، والمتشاكلات الضوئية التي تحتوي على مراكز كيرالية.	٨-٤			
أستنتج المتشاكلات المحتملة من صيغة جزيئية معطاة.	٨-٤			
أشرح المقصود بالمصطلحات الآتية: أ. الإضافة ب. الحذف ج. الاستبدال (الإحلال) د. التحلل المائي هـ. الأكسدة و. الاختزال ز. الانشطار المتجانس والانشطار غير المتجانس ح. الجذر الحر ط. الابتداء ي. الانتشار ك. الإيقاف (الإنهاء) ل. النيوكليوفيل م. الإلكتروفيل	٨-٥			



الوحدة التاسعة

الهيدروكربونات والهالوجينوألكانات

Hydrocarbons and Halogenoalkanes

أهداف التعلم

٩-١ يشرح ضعف النشاط الكيميائي للألكانات، من حيث قطبيتها، ويصف احتراقها الكامل وغير الكامل.

٩-٢ يصف الآثار البيئية لأحادي أكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، والهيدروكربونات غير المحترقة الناتجة من احتراق الألكانات في محركات المركبات، وكيفية تحويل هذه الملوّثات بوساطة محولات مجهزة بعوامل حفّازة.

٩-٣ يشرح تفاعل الاستبدال (الإحلال) بوساطة الجذور الحرة في الألكانات مع الكلور (Cl_2) والبروم (Br_2) بوجود أشعة فوق بنفسجية، موضحا آلية التفاعل في خطواته الثلاث (استخدام الأسهم المنحنية غير مطلوب).

٩-٤ يصف تفاعلات الإضافة للألكينات مع كل من:
(أ) الهيدروجين $H_2(g)$ في تفاعل الهدرجة، بوجود العامل الحفّاز Pt/Ni، والحرارة.
(ب) الهالوجين X_2 عند درجة حرارة الغرفة.
(ج) هاليد الهيدروجين $HX(g)$ عند درجة حرارة الغرفة.
(د) بخار الماء $H_2O(g)$ بوجود العامل الحفّاز H_3PO_4.

٩-٥ يشرح آلية تفاعلات الإضافة الإلكتروفيلية التي تحدث للألكينات مع الهالوجينات وهاليدات الهيدروجين، متضمنة التأثيرات الحثية لمجموعات الألكيل على استقرار الكاتيونات الكربونية المتكونة.

٩-٦ يصف عملية أكسدة الألكينات باستخدام محلول حمضي مخفف وبارد من $KMnO_4$ لتكوين الدايول (مركب عضوي يحتوي على مجموعتَي OH).

٩-٧ يتذكّر المواد الكيميائية والظروف التي يمكن عن طريقها إنتاج الهالوجينوألكانات (هاليدات الألكيل) من التفاعلات الآتية:
(أ) تفاعل الاستبدال في الألكانات بوساطة الجذور الحرة باستخدام Cl_2 أو Br_2.
(ب) تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لألكين ما مع هالوجين X_2 أو هاليد الهيدروجين HX.
(ج) تفاعل الاستبدال للكحولات مع:
(١) HX
(٢) KBr و H_2SO_4
(٣) PCl_5 أو $SOCl_2$

٩-٨ يصنّف الهالوجينوألكانات (هاليدات الألكيل) إلى أولية وثانوية وثالثية.

٩-٩ يصف تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي للهالوجينوألكانات (هاليدات الألكيل) مع:
(أ) محلول NaOH(aq) بالتسخين لإنتاج كحول.
(ب) محلول نترات الفضة المائي في الإيثانول كطريقة لتحديد نوع الهالوجين الموجود.

٩-١٠ يصف تفاعل الإزالة للهالوجينوألكانات مع NaOH في الإيثانول بالتسخين لإنتاج الألكين كما هو موضّح مع البروموإيثان.

٩-١١ يشرح آلية الاستبدال النيوكليوفيلي للهالوجينوألكانات (هاليدات الألكيل) الأولية مع كل من محلول NaOH المائي، والماء.

٩-١٢ يصف النشاط الكيميائي للهالوجينوألكانات (هاليدات الألكيل) ويشرحها.

قبل أن تبدأ بدراسة الوَحدة

١. لديك أربعة احتمالات من الأفلاك الذرية المهجنة للكربون، هي:

sp فقط sp^2 فقط sp^3 فقط sp^2 و sp^3

حدد نوع التهجين في كل من:

أ. الإيثان

ب. الإيثين

ج. البروبين

٢. أ. سمّ كلًا من المركبات الآتية:

١. $CH_3CH_2CH(CH_3)CH_3$

٢. $CH_3CH_2CH_2CH{=}CH_2$

٣. $CH_3CH(CH_3)CH_2CHBrCH_3$

ب. اكتب الصيغة البنائية لكل من المركبات الآتية:

١. 3،2–ثنائي ميثيل هكسان

٢. 2–بنتين

٣. 4،4–ثنائي برومو–5،3،2–ثلاثي كلورو هبتان

٣. ناقش مع أحد زملائك أوجه الاختلاف بين تفاعلات الإضافة والاستبدال (الإحلال) والإزالة (الحذف). ثم وضّح إجابتك من خلال كتابة ثلاث معادلات كيميائية بالرجوع إلى الوحدة الثامنة.

٤. بالتعاون مع أحد زملائك، ناقش الفرق بين مفهومَي الإلكتروفيل والنيوكليوفيل، باستخدام آلية حدوث التفاعل.

٥. في ما يلي أربع عبارات تحدّد كيفية كسر الرابطة التساهمية:

أ. تأخذ إحدى الذرتَين كلا الإلكترونَين الموجودَين في الرابطة، وتصبح أيونًا يحمل شحنة سالبة.

ب. تأخذ إحدى الذرتَين كلا الإلكترونَين الموجودَين في الرابطة، وتصبح أيونًا يحمل شحنة موجبة.

ج. تأخذ كل ذرة إلكترونًا واحدًا من الرابطة، مكوّنة جذرَين حرَّين.

د. تأخذ كل ذرة إلكترونًا واحدًا من الرابطة، بحيث تصبح إحداهما أيونًا يحمل شحنة سالبة، وتصبح الأخرى أيونًا يحمل شحنة موجبة.

أي العبارات أعلاه تُعدّ صحيحة في الحالات الآتية:

١. عندما تتكسر رابطة تساهمية بشكل غير متجانس.

٢. عندما تتكسر رابطة تساهمية بشكل متجانس.

٦. صف اختبارًا يحدد وجود أيون البروميد، راجع الوحدة الخامسة من الصف العاشر.

العلوم ضمن سياقها

الهيدروكربونات والهالوجينوألكانات المستخدمة

يُعدّ النفط الخام المصدر الرئيسي للوقود الأحفوري، كما هو المصدر الرئيسي لوقود محركات المركبات والسفن والنقل الجوي. يُستخرج النفط الخام من طبقات الصخور المسامية الموجودة أسفل طبقة غير نفاذة من الصخور داخل القشرة الأرضية (الصورة ٩-١). والنفط الخام هو مخلوط معقد من الهيدروكربونات التي تحتوي على ألكانات خطية ومتفرعة وألكانات حلقية. والهيدروكربونات مركبات تحتوي على الكربون والهيدروجين فقط، فهي تزودنا بأنواع مختلفة من الوقود مثل البنزين والديزل والكيروسين. كما يتم اعتمادها كمواد أولية تُستعمل في صناعة الكثير من المواد، مثل معظم المواد البلاستيكية التي نستخدمها في حياتنا اليومية.



الصورة ٩-١ النفط الخام.

يتم ضخّ النفط الخام إلى السطح من آبار النفط، ثم يُنقل إلى المصافي لتكريره. ويختلف التركيب الفعلي للنفط الخام باختلاف حقول النفط الموجودة حول العالم.

وتتم معالجة النفط الخام في المصافي لتحويله إلى أنواع مفيدة من الوقود. فالمرحلة الأولى هي عملية التقطير التجزيئي للنفط، حيث يتم فصل المجموعة الواسعة من الهيدروكربونات المختلفة إلى مشتقات؛ إذ تمتلك الهيدروكربونات الموجودة في كل مشتق درجات غليان متقاربة. تحدث هذه العملية في أبراج التجزئة.

ومن المشتقات المستخرجة من النفط والأكثر طلبًا هو الجازولين، الذي يوفر البنزين للسيارات، إضافة إلى النفثا الذي يوفر المواد الأولية اللازمة لإنتاج العديد من المواد الكيميائية الأخرى في الصناعة.

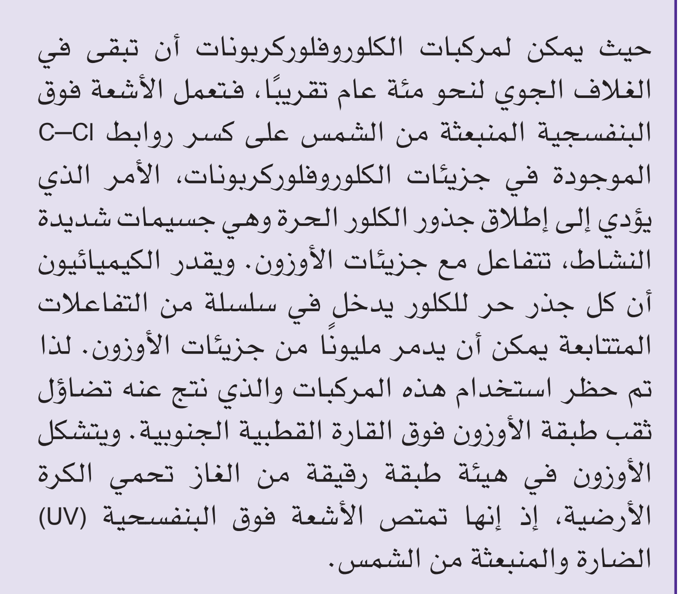
وتُعدّ سلطنة عمان إحدى الدول المنتجة للنفط الخام في العالم، حيث إنها تُنتج ما يقارب المليون برميل يوميًا.

تُستخدم الهالوجينوألكانات في العديد من العمليات الكيميائية الصناعية. وهي تنتج من تفاعل ألكانات ومركبات عضوية أخرى مع الهالوجينات، مثل الفلور والكلور. فالكثير من الهالوجينوألكانات غير نشطة نسبيًا في الظروف العادية، ولهذا تستخدم كمواد مثبّطة للهب، ومواد مخدرة، مثل الهالوثان (2 – برومو – 2 – كلورو – 1،1،1 – ثلاثي فلوروإيثان).

وتُعرف الكلوروفلوروألكانات بشكل شائع باسم الكلوروفلوروكربونات، (CFCs chlorofluorocarbons). هذه المركبات الكيميائية تكون جميعها خاملة، وهي غير قابلة للاشتعال وغير سامة. وهذه الخصائص جعلت مركبات الكلورفلوروكربونات المتطايرة مفيدة كمواد دافعة للهباء الجوي التي تستخدم في البخّاخات وعبوات الرذاذ المعطر، وكمذيبات، وكمواد تبريد في الثلاجات. كما تم استخدامها كعوامل توسيع للبوليمرات كما في البوليسترين الموسّع.

وعلى الرغم من الاستخدامات العديدة لهذه المركبات إلّا أنها تسببت في حدوث مشكلة بيئية خطرة، تمثّلت في تدمير طبقة الأوزون الموجودة في الغلاف الجوي.

تابع



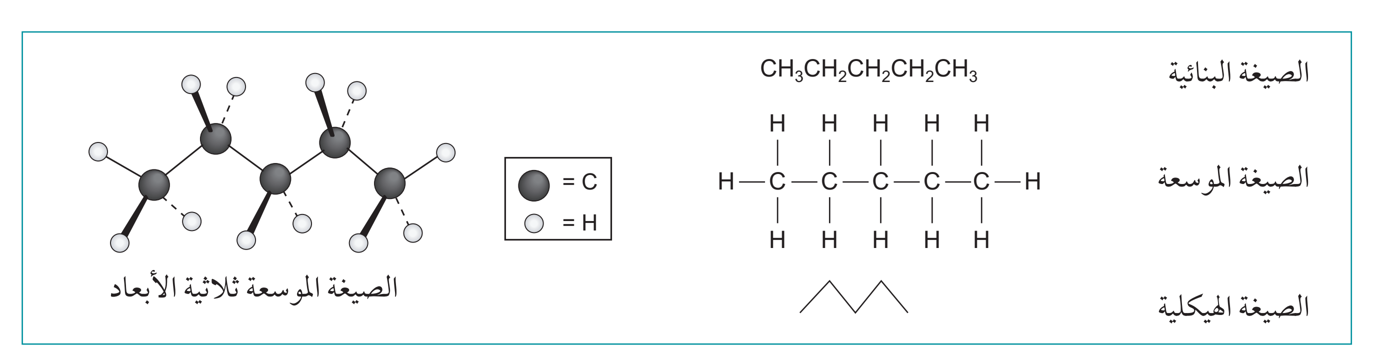
حيث يمكن لمركبات الكلوروفلوركربونات أن تبقى في الغلاف الجوي لنحو مئة عام تقريبًا، فتعمل الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من الشمس على كسر روابط C–Cl الموجودة في جزيئات الكلوروفلوركربونات، الأمر الذي يؤدي إلى إطلاق جذور الكلور الحرة وهي جسيمات شديدة النشاط، تتفاعل مع جزيئات الأوزون. ويقدر الكيميائيون أن كل جذر حر للكلور يدخل في سلسلة من التفاعلات المتتابعة يمكن أن يدمر مليونًا من جزيئات الأوزون. لذا تم حظر استخدام هذه المركبات والذي نتج عنه تضاؤل ثقب طبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية. ويتشكل الأوزون في هيئة طبقة رقيقة من الغاز تحمي الكرة الأرضية، إذ إنها تمتص الأشعة فوق البنفسجية (UV) الضارة والمنبعثة من الشمس.



الصورة ٩–٢ ثقب طبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية.

٩-١ الألكانات وتفاعلاتها

تعد الألكانات أبسط الهيدروكربونات وأكثرها شيوعًا وهي تمتلك الصيغة العامة C_nH_{2n+2} (الشكل ٩–١).



الشكل ٩–١ صيغ تمثيل جزيء البنتان (C_5H_{12}).

ولا تتبع الألكانات الحلقية الصيغة العامة للألكانات، C_nH_{2n+2}، الشكل (٩–٢) وإنما تتبع الصيغة العامة للألكينات وهي C_nH_{2n}، وبالتالي، فإن الألكانات الحلقية والألكينات التي تمتلك العدد نفسه من ذرات الكربون هي متشاكلات.

الشكل ٩–٢ الصيغتان الموسعة والهيكلية للهكسان الحلقي (C_6H_{12}).

وتمتلك الألكانات روابط تساهمية أحادية، ويكون تهجين ذرات الكربون جميعها من النوع sp^3. وهذا يعني أن الألكانات تمتلك أكبر عدد من ذرات الهيدروجين في جزيئاتها، وبالتالي هي تسمى **هيدروكربونات مشبعة Saturated hydrocarbons**.

مصطلحات علمية

الهيدروكربون المشبع Saturated hydrocarbon: هو مركب يتكوّن من الكربون والهيدروجين فقط، وتكون فيه الروابط كربون–كربون جميعها روابط تساهمية أحادية.



سؤال

١ أ. الديكان هو ألكان تمتلك جزيئاته سلسلة خطية تحتوي على 10 ذرات كربون.
١. ما الصيغة الجزيئية للديكان؟
٢. ارسم الصيغة الهيكلية للديكان.

ب. ارسم الصيغتَين الموسعة والهيكلية للبنتان الحلقي.

ج. اذكر نوعَين من الفوارق بين جزيء البنتان الحلقي وجزيء البنتان.

النشاط الكيميائي للألكانات

الألكانات مركبات غير نشطة كيميائيًا بشكل عام ويعود ذلك إلى الفرق البسيط في السالبية الكهربائية بين الكربون والهيدروجين (انظر الموضوع ٨-٣)، لذا فهي لا تتعرض للهجوم من قبل النيوكليوفيلات أو الإلكتروفيلات. فالألكانات غير القطبية لا تتفاعل مع المركبات القطبية مثل الماء، بل تشكل مع الماء طبقتين منفصلتين في المخلوط (الصورة ٩-٣)؛ ذلك لأن الألكانات لا تحمل شحنة جزئية موجبة (δ^+) على أي من ذرات الكربون الخاصة بها لجذب النيوكليوفيلات، كما أنها لا تمتلك مناطق ذات كثافة إلكترونية مرتفعة لجذب الإلكتروفيلات (انظر الموضوع ٨-٦).



الصورة ٩-٣ توضح عدم امتزاج الماء مع الهكسان (تم تلوين الهكسان باللون البنفسجي لنتمكن من رؤيته).

ومع ذلك، تتفاعل الألكانات مع الأكسجين في تفاعلات الاحتراق، وتتعرض لتفاعلات استبدال (إحلال) مع الهالوجينات بتأثير أشعة الشمس.

احتراق الألكانات

تُستخدم الألكانات غالبًا كوقود في عدة مجالات مثل:

- توليد الكهرباء في محطات توليد الطاقة.
- تدفئة المنازل وطهي الطعام.
- إمداد الطاقة اللازمة في العمليات الصناعية.
- تزويد الوقود المناسب لوسائل النقل المختلفة.

يحترق الألكان احتراقًا كاملًا بوجود فائض من الأكسجين، فتتأكسد ذرات الكربون جميعها بشكل تام لتكوين ثاني أكسيد الكربون، وفق المعادلة اللفظية الآتية:

ألكان + أكسجين $\xrightarrow{\text{احتراق كامل}}$ ثاني أكسيد الكربون + ماء



الصورة ٩-٤ استخدام الألكانات كوقود للسيارات.

فمثلًا، يُعدّ الأوكتان أحد الألكانات الموجودة في البترول الذي يحترق في محركات الاحتراق الداخلي للمركبات، إذ يتعرض بعض من الأوكتان إلى الاحتراق الكامل داخل محرك السيارة، وفق المعادلة الآتية:

أوكتان + أكسجين ←(احتراق كامل) ثاني أكسيد الكربون + ماء

$$2C_8H_{18}(l) + 25O_2(g) \xrightarrow{\text{احتراق كامل}} 16CO_2(g) + 18H_2O(l)$$

ويمكن كتابة معادلة الاحتراق الكامل لمول واحد من الأوكتان على النحو الآتي:

$$C_8H_{18}(l) + \frac{25}{2}O_2(g) \longrightarrow 8CO_2(g) + 9H_2O(l)$$

أما عندما يختلط البترول أو الديزل مع الهواء داخل محرك السيارة، فتكون كمية الأكسجين محدودة. وتحت هذه الظروف، لن يتأكسد كل الكربون الموجود في الوقود الهيدروكربوني بشكل تام لتكوين ثاني أكسيد الكربون، بل يتأكسد بعض منه جزئيًا لتكوين غاز أحادي أكسيد الكربون (CO). وتسمى هذه العملية احتراق غير كامل وفق المعادلة اللفظية الآتية:

ألكان + أكسجين ←(احتراق غير كامل) أحادي أكسيد الكربون + ماء

فعلى سبيل المثال، يتم الاحتراق غير الكامل للأوكتان وفق المعادلة الآتية:

$$2C_8H_{18}(l) + 17O_2(g) \xrightarrow{\text{احتراق غير كامل}} 16CO(g) + 18H_2O(l)$$

ويمكن كتابة معادلة الاحتراق غير الكامل لمول واحد من الأوكتان على النحو الآتي:

$$C_8H_{18}(l) + \frac{17}{2}O_2(g) \longrightarrow 8CO(g) + 9H_2O(l)$$

الآثار البيئية لاحتراق الوقود الهيدروكربوني

الاحتراق غير الكامل للألكان ينتج عنه غازات ضارة مثل: أحادي أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين و الهيدروكربونات غير المحترقة. وهذه الغازات تسبب العديد من الآثار البيئية، منها على سبيل المثال:

١. أحادي أكسيد الكربون: يعد غازًا سامًا يرتبط مع الهيموجلوبين الموجود في الدم. وفي هذه الحالة، لن تتمكّن جزيئات الهيموجلوبين من الارتباط بالأكسجين، الأمر الذي يمنع وصول الأكسجين إلى أنحاء الجسم. لذا، سيشعر ضحايا التسمم بغاز أحادي أكسيد الكربون بالدوار، ثم فقدان الوعي. وإذا استمر تعرض الضحية لهذا الغاز السام فسوف يفارق الحياة.

وما يزيد من خطورة أحادي أكسيد الكربون أنه غاز عديم الرائحة، إذ تحدث كثير من حالات الاختناق بسبب الاحتراق غير الكامل في غرف سيئة التهوئة.

٢. أكاسيد النيتروجين: إضافة إلى انبعاث غاز أحادي أكسيد الكربون، تُطلق المركبات أكاسيد النيتروجين الحمضية أيضًا، خصوصًا (NO) و (NO_2). ففي عملية الاحتراق العادية، لا يتأكسد غاز النيتروجين في الهواء. ولكن عند درجات الحرارة المرتفعة جدًا في محركات المركبات، يتأكسد النيتروجين فتتكوّن مجموعة متنوعة من أكاسيد النيتروجين وتنبعث في الهواء ضمن أبخرة عوادم المركبات. وتوضح المعادلتان أدناه بعض تفاعلات تكوين أكاسيد النيتروجين:

$$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$$

$$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$



الصورة ٩-٥ الآثار البيئية الناتجة من الأمطار الحمضية.



الصورة ٩-٦ التلوث الناتج من انبعاثات المركبات.

وتسهم هذه الأكاسيد في تكوين المطر الحمضي؛ فالأمطار الحمضية يمكن أن تقتل الأشجار والأحياء المائية (الصورة ٩-٥). ويسبّب المطر الحمضي أيضًا تآكل المباني والمجسمات المصنوعة من الحجر الجيري، كما يؤدي إلى تآكل الفلزات، مثل الحديد.

٣. الهيدروكربونات غير المحترقة: إضافة إلى أحادي أكسيد الكربون السام وأكاسيد النيتروجين الحمضية، تُطلق المركبات أيضًا هيدركربونات غير محترقة، ويشار إليها غالبًا باسم المركبات العضوية المتطايرة (VOCs Volatile Organic Compounds). وتُعدّ بعض هذه المواد مسرطنة، كما يمكن أن تكوّن نترات البيروكسي أسيتيل (Peroxy Acetyl Nitrate، PAN)، والذي يُسهم مع أكاسيد النيتروجين في تكوّن الضباب الدخاني (الصورة ٩-٦).

تقليل انبعاثات عوادم المركبات

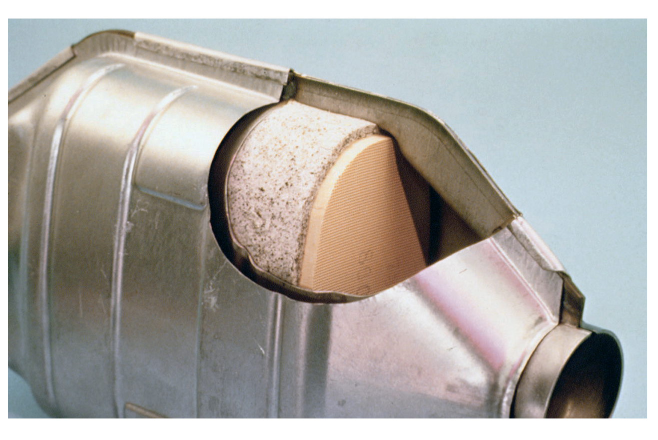
أصبح بالإمكان تزويد المركبات بمحولات محفّزة يتم تركيبها في الأنظمة الخاصة بالعوادم، والتي يتم طلاؤها بفلزات ثمينة (الصورة ٩-٧). وتعمل هذه المحولات المحفزة على تحويل الأكاسيد الضارة والهيدروكربونات غير المحترقة إلى غازات أقل ضررًا من خلال التفاعلات الآتية:

- أكسدة أحادي أكسيد الكربون لتكوين ثاني أكسيد الكربون الأقل ضررًا.
- اختزال أكاسيد النيتروجين لتكوين غاز النيتروجين غير الضار.
- أكسدة الهيدروكربونات غير المحترقة لتكوين ثاني أكسيد الكربون والماء.

ولكن هذه المحولات المحفّزة غير قادرة على تقليل كمية ثاني أكسيد الكربون (أحد الغازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري) المنبعثة في غازات عوادم المركبات.

تصف المعادلة الآتية التفاعل الذي يحدث بين أحادي أكسيد الكربون وأحادي أكسيد النيتروجين. يحدث هذا التفاعل على سطح العامل الحفاز المكوّن من فلز ثمين مثل البلاتين والموجود في المحول المحفّز:

$$2CO(g) + 2NO(g) \xrightarrow[\text{تسخين}]{Pt} 2CO_2(g) + N_2(g)$$



الصورة ٩-٧ تقلل المحولات المحفّزة من الملوثات المنبعثة من عوادم المركبات.

ويمكن أن يتأكسد جزء من غاز أحادي أكسيد الكربون داخل المحول المحفّز الساخن وفق المعادلة الآتية:

$$2CO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g)$$

لاحظ أنه يتم إطلاق المزيد من ثاني أكسيد الكربون في أثناء عملية إزالة أحادي أكسيد الكربون، وعلى الرغم من أن غاز ثاني أكسيد الكربون غير سام، إلّا أنه يُعدّ ملوثًا بسبب إسهامه في زيادة الاحتباس الحراري الذي يؤدي إلى ظاهرة التغير المناخي.



سؤال

(٢) **أ.** تنبّأ بما يمكن أن يحدث إذا أضيف الأوكتان إلى الماء.

ب. اشرح إجابتك على الجزئية أ.

ج. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للتفاعلات الآتية:

١. الاحتراق الكامل للهبتان (C_7H_{16}) والذي ينتج ثاني أكسيد الكربون والماء.

٢. الاحتراق غير الكامل للميثان (CH_4) والذي ينتج أحادي أكسيد الكربون والماء.

٣. الاحتراق غير الكامل للنونان (C_9H_{20}) والذي ينتج أحادي أكسيد الكربون والماء.

د. ١. اذكر اثنَين من الملوثات المنبعثة من محرك السيارة يمكن أكسدتهما في المحوّل المحفّز.

٢. سمِّ ملوّثًا يمكن اختزاله في المحول المحفّز.

٣. ما المادة الملوّثة المنبعثة من محرك السيارة والتي لا يتم اختزالها باستخدام المحول المحفّز؟ وما المشكلة البيئية التي تسهم فيها هذه المادة الملوثة؟

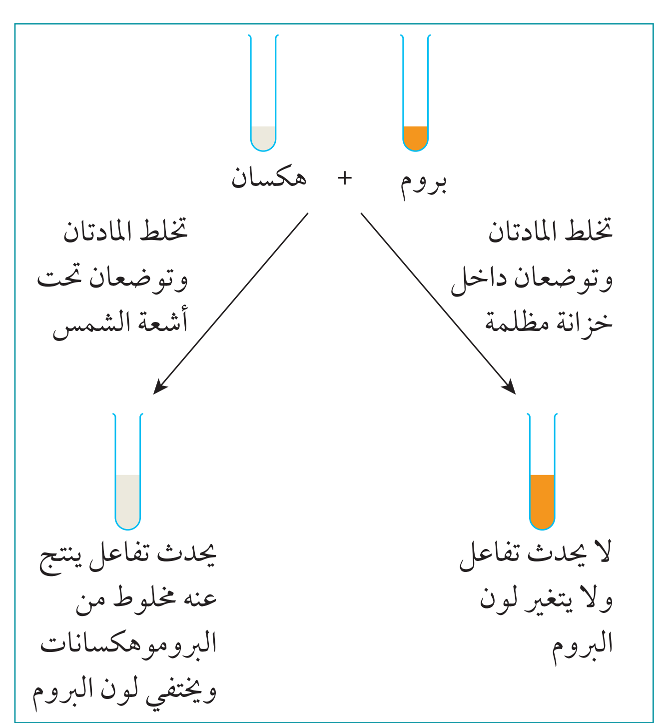
تفاعلات الاستبدال (الإحلال) في الألكانات

تخضع الألكانات لتفاعلات الاستبدال مع الهالوجينات بوجود أشعة الشمس وليس في الظلام. مثال على ذلك تفاعل الهكسان مع البروم (انظر الشكل ٩-٣).

مثال آخر هو تفاعل الإيثان مع الكلور بوجود الأشعة فوق البنفسجية (UV) في ضوء الشمس على وجه التحديد المطلوبة للتفاعل.

$$\underset{\text{إيثان}}{C_2H_6} + Cl_2 \xrightarrow{UV} \underset{\text{كلوروإيثان}}{CH_3CH_2Cl} + HCl$$

في هذا التفاعل، يتم استبدال ذرة هيدروجين في جزيء الإيثان بذرة الكلور. فما الدور الذي تؤديه أشعة الشمس في آلية حدوث تفاعلات الاستبدال هذه؟ وما هي خطوات آلية حدوثها؟



الشكل ٩-٣ يتفاعل الهكسان والبروم بوجود أشعة الشمس وليس في الظلام.

خطوة الابتداء Initiation step

الخطوة الأولى في آلية حدوث هذا التفاعل هي كسر الرابطة Cl–Cl بفعل طاقة الأشعة فوق البنفسجية (UV) الموجودة في أشعة الشمس. وهي تسمى خطوة الابتداء وتتم وفق المعادلة الآتية:

$$Cl_2 \xrightarrow{UV} 2Cl\bullet$$

عندما تتكسر الرابطة Cl–Cl، تأخذ كل ذرة كلور إلكترونًا واحدًا من زوج إلكترونات الرابطة Cl–Cl، حيث يُعدّ هذا مثالًا على انشطار متجانس للرابطة التساهمية (راجع الموضوع ٨-٦)، إذ تكوّنت ذرتا (•Cl) تمثلان جذورًا حرة، وتمتلك كل واحدة منها إلكترونًا واحدًا غير مشترك.

خطوة الانتشار Propagation step

تكون الجذور الحرة نشطة كيميائيًا، وعادة ما تهاجم الألكانات غير النشطة. فيهاجم الجذر الحر •Cl جزيء الإيثان كما توضح المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_3 + Cl\bullet \longrightarrow CH_3CH_2\bullet + HCl$$

ففي خطوة الانتشار الأولى هذه، تتكسر الرابطة C–H في جزيء (CH_3CH_3) بشكل متجانس، فيتكوّن جذر حر إيثيل $CH_3CH_2\bullet$. يمكن لهذا الجذر الحر أن يهاجم جزيء كلور، في خطوة انتشار ثانية، مكوّنًا الكلورو إيثان ومنتجًا لجذر حر للكلور من جديد كما توضح المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2\bullet + Cl_2 \longrightarrow CH_3CH_2Cl + Cl\bullet$$

ثم يمكن لخطوة الانتشار الأولى أن تتكرر، طالما يمكن لجذر الكلور الحر أن يهاجم جزيء إيثان آخر، فيتكوّن جذر حر (إيثيل) يُنتج بدوره جذرًا حرًّا (كلور) آخر.

لا يُعدّ هذا التفاعل مناسبًا لتحضير عينة نقية من الهالوجينوألكان لأن التفاعل ينتج مخلوطًا من مواد الاستبدال. ففي التفاعل الذي يحدث بين الإيثان والكلور، يمكن أن تتضمن المواد الناتجة العديد من الكلورو ألكانات المختلفة، كأن تتضمن الكلوروإيثان، و1،1 – ثنائي كلوروإيثان، و1،1،1 – ثلاثي كلوروإيثان، و 1،2 – ثنائي كلوروإيثان، و1،1،2 – ثلاثي كلوروإيثان، و1،1،2،2 – رباعي كلوروإيثان. وإذا كان هناك ما يكفي من الكلور، فإننا سوف نحصل في النهاية على سداسي كلورو إيثان (C_2Cl_6). ويحصل هذا التنوع في المواد الناتجة من الكلوروألكانات بفعل خطوات الانتشار.

فعلى سبيل المثال، قد يحدث تفاعل وفق المعادلة الآتية:

$$Cl\bullet + CH_3CH_2Cl \longrightarrow HCl + \bullet CH_2CH_2Cl$$

ويتبعه تفاعل يحدث وفق المعادلة الآتية:

$$Cl_2 + \bullet CH_2CH_2Cl \longrightarrow Cl\bullet + ClCH_2CH_2Cl$$

1،2 – ثنائي كلورو إيثان

وكلما ازدادت كمية غاز الكلور في مخلوط التفاعل الابتدائي، ازدادت نسب ذرات الكلور في جزيئات الكلورو ألكان المتكوّنة.

خطوة الإيقاف Termination steps

عندما يلتقي جذران حرّان سوف يتفاعلان. وسيتكوّن جزيء واحد يكون هو المادة الناتجة الوحيدة في هذه الحالة. وباختفاء الجذور الحرة سوف تتوقف سلسلة التفاعل. وفي ما يلي بعض الأمثلة على خطوات الإيقاف:

$$CH_3CH_2\bullet + Cl\bullet \longrightarrow CH_3CH_2Cl$$

$$CH_3CH_2\bullet + \bullet CH_2CH_3 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2CH_3$$

بيوتان

وبشكل عام، فإن التفاعل الذي يحدث بين الألكانات والهالوجينات، والذي يتضمن خطوات الابتداء، والانتشار، والإيقاف، يسمى تفاعل **استبدال بالجذر الحر Free-radical substitution**.

مصطلحات علمية

استبدال بالجذر الحر Free-radical substitution: هو التفاعل الذي تحل فيه ذرات هالوجين محل ذرات هيدروجين في جزيئات هيدروكربونية.

مهمّ

- في خطوة الابتداء، نبدأ بجزيء واحد ويتكوّن جذران حرّان.
- في كل خطوة انتشار، نبدأ بجزيء واحد وجذر حرّ واحد، ويتكوّن جزيء واحد مختلف، وجذر حرّ واحد مختلف.
- في خطوة الإيقاف، نبدأ بجذرَين حرَّين، وننتهي بجزيء واحد فقط، وعدم وجود جذور حرّة.

مثال

١. اكتب آلية حدوث تفاعل استبدال بالجذر الحر للبروبان مع البروم عند تعريضهما للأشعة فوق البنفسجية (UV)، والذي يتم وفق المعادلة الآتية:

$$C_3H_8 + Br_2 \xrightarrow{\text{أشعة uv}} C_3H_7Br + HBr$$

الحلّ:

الخطوة ١: اكتب خطوة الابتداء للتفاعل، والتي سوف تبدأ بجزيء واحد وتنتهي بجذرَين حرَّين.

لذا ينبغي للمعادلة:

- أن تبدأ بجزيء الهالوجين (Br_2) كمادة متفاعلة.
- وأن تنتهي بجذرَين حرَّين لذرّتَي بروم كمادتَين ناتجتَين.

$$Br_2 \longrightarrow 2Br\bullet$$

الخطوة ٢: اكتب خطوة الانتشار الأولى.

ستبدأ هذه المعادلة بجذر حرّ واحد وتنتهي بجذر حرّ واحد مختلف.

لذا، يجب أن تتضمن بداية المعادلة ما يلي:

- جذر حر $Br\bullet$ من البروم من الخطوة السابقة.
- والجزيء الآخر الموضح في معادلة التفاعل (C_3H_8).

$$Br\bullet + C_3H_8 \longrightarrow$$

ويجب أن تنتهي المعادلة بما يلي:

- HBr
- الجذر الحر $C_3H_7\bullet$

حيث إن الجذر الحر $Br\bullet$ يأخذ ذرة (H) من الجزيء (C_3H_8) كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$Br\bullet + C_3H_8 \longrightarrow HBr + C_3H_7\bullet$$

الخطوة ٣: اكتب خطوة الانتشار الثانية، والتي سوف تبدأ بجذر حر وتنتهي بجذر حر مختلف.

لذا، يجب أن تتضمن بداية المعادلة ما يلي:

- الجذر الحر $C_3H_7\bullet$ من البروبان من الخطوة السابقة.
- والجزيء الآخر الموضح في معادلة التفاعل (Br_2).

$$C_3H_7\bullet + Br_2 \longrightarrow$$

ويجب أن تنتهي المعادلة بما يلي:

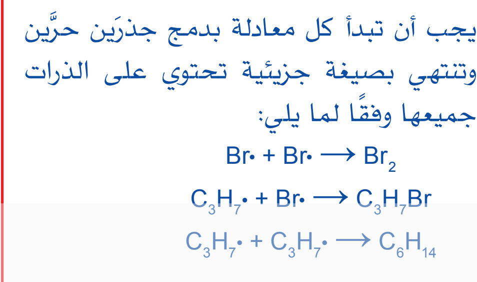
- C_3H_7Br
- الجذر الحر $Br\bullet$

تابع

حيث إن الجذر الحر $C_3H_7\cdot$ يأخذ ذرة (Br) من الجزيء (Br_2) كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$C_3H_7\cdot + Br_2 \longrightarrow C_3H_7Br + Br\cdot$$

الخطوة ٤: اكتب خطوات الإيقاف الثلاث المحتملة، والتي ستبدأ جميعها بجذرَين حرَّين، وتنتهي بجزيء واحد. ثمّة جذران حرّان هما $Br\cdot$ و $C_3H_7\cdot$، لذا،



يجب أن تبدأ كل معادلة بدمج جذرَين حرَّين وتنتهي بصيغة جزيئية تحتوي على الذرات جميعها وفقًا لما يلي:

$$Br\cdot + Br\cdot \longrightarrow Br_2$$

$$C_3H_7\cdot + Br\cdot \longrightarrow C_3H_7Br$$

$$C_3H_7\cdot + C_3H_7\cdot \longrightarrow C_6H_{14}$$



سؤال

٣ يمكن أن يتفاعل البروم مع البيوتان لتكوين 1 – بروموبيوتان.

أ. ماذا نسمي هذا النوع من التفاعلات؟

ب. ما الظروف اللازمة لكي يحدث التفاعل بين البروم والبيوتان؟

ج. اكتب معادلة تفاعل البيوتان (C_4H_{10}) مع البروم لتكوين 1 – بروموبيوتان (C_4H_9Br).

د. لماذا لا يُعدّ هذا التفاعل طريقة جيدة لتحضير عيّنة نقية من 1 – بروموبيوتان؟

هـ. ١. سمِّ الخطوات الثلاث المتضمنة في آلية حدوث هذا التفاعل.

٢. اكتب معادلة الخطوة الأولى في آلية حدوث هذا التفاعل.

٣. ما نوع كسر الرابطة الذي تتضمنه الخطوة الأولى؟

٤. اكتب معادلتي الخطوة الثانية في آلية حدوث هذا التفاعل.

٥. اشرح كيف توضح المعادلتان في الجزئية (٤) أن الخطوة الثانية هي سلسلة تفاعل.

٦. اكتب ثلاث معادلات تُوضح الخطوة الثالثة (خطوة الإيقاف) في آلية حدوث التفاعل.

٩-٢ الألكينات وتفاعلاتها

درست سابقًا في الوحدة الثامنة أن الألكينات ذات الصيغة العامة C_nH_{2n} تحتوي على روابط ثنائية، لذلك توصف بأنها **هيدروكربونات غير مشبعة Unsaturated hydrocarbons**.

ويتم إنتاج الألكينات من الألكانات ذات السلاسل الطويلة الموجودة في النفط الخام. وقد درست في الصف العاشر، طريقة فصل مكوّنات النفط الخام في مصافي تكرير النفط إلى مشتقات هيدروكربونية مختلفة في كتلها الجزيئية، فالمشتقات التي تحتوي على كتل جزيئية كبيرة أقل فائدة، لذا يتم تكسيرها إلى جزيئات أصغر وأكثر فائدة. وتسمى هذه العملية **التكسير craking**. والمعادلة الآتية مثال على تفاعل تكسير.

$$C_{10}H_{22} \xrightarrow[\text{تسخين}]{Al_2O_3} C_6H_{14} + C_4H_8$$

$$CH_3(CH_2)_8CH_3 \xrightarrow[\text{تسخين}]{Al_2O_3} CH_3(CH_2)_4CH_3 + CH_2{=}CHCH_2CH_3$$

مصطلحات علمية

الهيدروكربونات غير المشبعة Unsaturated hydrocarbons: مركبات تتكوّن من الهيدروجين والكربون فقط، وتحتوي جزيئاتها على روابط كربون–كربون ثنائية أو ثلاثية.

التكسير Cracking: عملية يتم فيها تكسير جزيئات الهيدروكربونات الكبيرة الأقل فائدة إلى جزيئات أصغر ذات فائدة أكبر في مصفاة تكرير النفط.

تُعدّ الألكانات ذات الكتل المنخفضة مثل (C_6H_{14}) أنواع وقود ذات فائدة كبيرة، ويكون الطلب عليها كبيرًا جدًا. وتُعدّ الألكينات الناتجة مثل (C_4H_8) مفيدة جدًا أيضًا. فهي أكثر نشاطًا كيميائيًا من الألكانات بسبب وجود الروابط الثنائية فيها، ما يجعلها مفيدة في الصناعات الكيميائية بوصفها مواد أولية تدخل في صناعة الكثير من المواد.

مصطلحات علمية

إزالة الماء Dehydration: هي عملية إزالة (نزع) جزيء ماء من جزيء مادة متفاعلة.

إضافة إلى عملية تكسير الألكانات، يمكن تصنيع الألكينات وتحضيرها وفق ما يلي:

- حذف (نزع) هاليد الهيدروجين مثل (HCl) من هالوجينوألكان عن طريق تسخينه بوجود هيدروكسيد الصوديوم في الإيثانول (الموضوع ٩-٣).
- **إزالة الماء Dehydration** من الكحولات عن طريق استخدام عامل حفّاز ساخن (مثل أكسيد الألومنيوم، (Al_2O_3)) أو حمض مركز. (الاستقصاء العملي ٩-١)

سؤال

٤ أ. سمّ الألكين الأول في السلسلة المتجانسة للألكينات.
ب. اكتب الصيغة الجزيئية للألكين الذي يحتوي على 9 ذرات كربون، ورابطة C=C واحدة.
ج. راجع معادلة التكسير الواردة في النص أعلاه، ثم اكتب المعادلة اللفظية لهذا التفاعل.
د. ارسم الصيغتَين الموسّعة والهيكلية للألكين: $CH_2{=}CHCH_2CH_3$.
هـ. فسر ما يلي: تعد الألكينات أكثر نشاطًا كيميائيًا من الألكانات.

تفاعلات الإضافة في الألكينات

تُعدّ غالبية تفاعلات الألكينات أمثلة على تفاعلات الإضافة. ففي هذه التفاعلات، تتكسر الرابطة باي (π) في الرابطة الثنائية الموجودة بين ذرتَي الكربون (C=C) وتتكوّن رابطة أحادية (رابطة سيجما) جديدة على كل ذرة من ذرتَي الكربون. ويوضح الشكل (٩-٤) معادلتَين عامتَين لتفاعلات الإضافة.

(أ)

$$>C{=}C< \; + \; X{-}Y \longrightarrow -\overset{X}{\underset{|}{C}}-\overset{Y}{\underset{|}{C}}-$$

(ب)

$$>C{=}C< \; + \; X{-}X \longrightarrow -\overset{X}{\underset{|}{C}}-\overset{X}{\underset{|}{C}}-$$

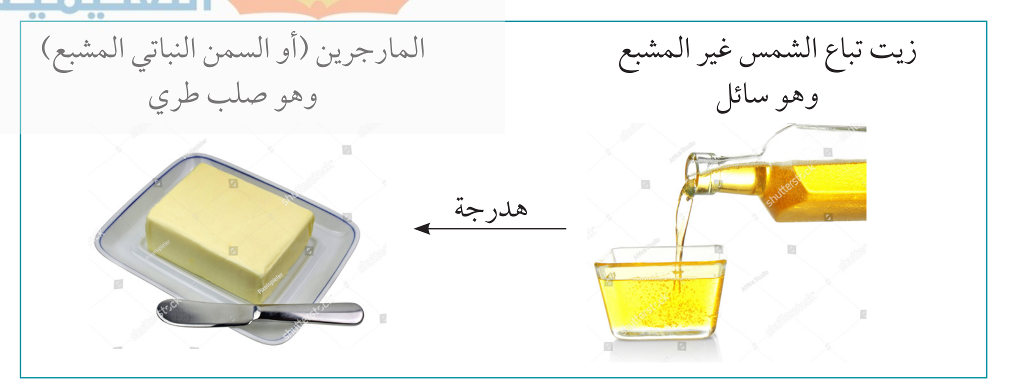
الشكل ٩-٤ معادلتان عامتان لتفاعلات الإضافة إلى الألكينات: (أ) مع جزيء XY-، مثل بروميد الهيدروجين (HBr) أو كلوريد الهيدروجين (HCl) و(ب) مع جزيء X_2، مثل الكلور (Cl_2) أو الهيدروجين (H_2).

إضافة الهيدروجين $H_2(g)$

عند تسخين مخلوط من غاز الهيدروجين وألكين ما (عادة عند درجة حرارة 150°C) وتمريرهما فوق عامل حفاز من مسحوق البلاتين/النيكل (Pt/Ni)، ينتج ألكان وفق المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{إيثين}}{CH_2{=}CH_2} + H_2 \xrightarrow[\text{تسخين}]{\text{عامل حفّاز Pt / Ni}} \underset{\text{إيثان}}{CH_3CH_3}$$

يعرف تفاعل إضافة الهيدروجين إلى المركبات غير المشبعة مثل الألكينات **بالهدرجة** **Hyrogenation** وهو تفاعل اختزال. ويستخدم هذا التفاعل في تحضير السمن النباتي صناعيًا من الزيوت غير المشبعة، مثل زيت تباع الشمس. وهذا التفاعل يؤدي إلى رفع درجات انصهار الزيوت وتحويلها من مواد سائلة إلى مواد صلبة لينة (الصورة ٩-٨).



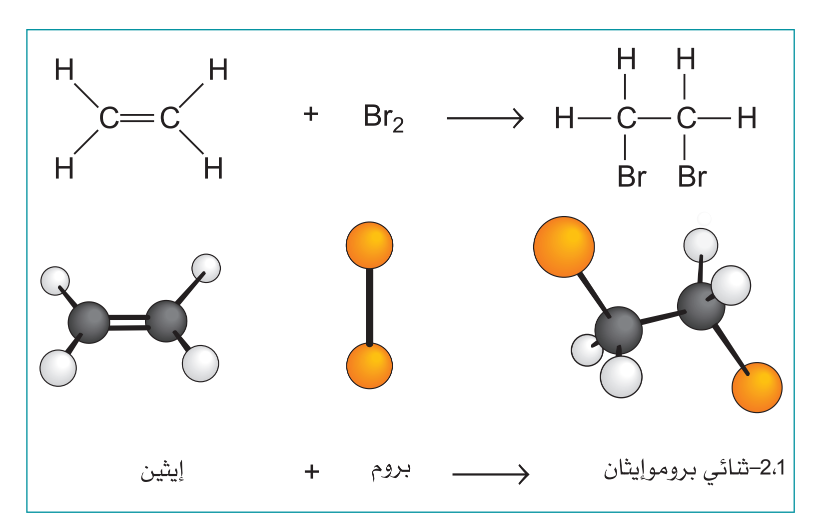
الصورة ٩-٨ هدرجة الزيوت غير المشبعة.

مصطلحات علمية

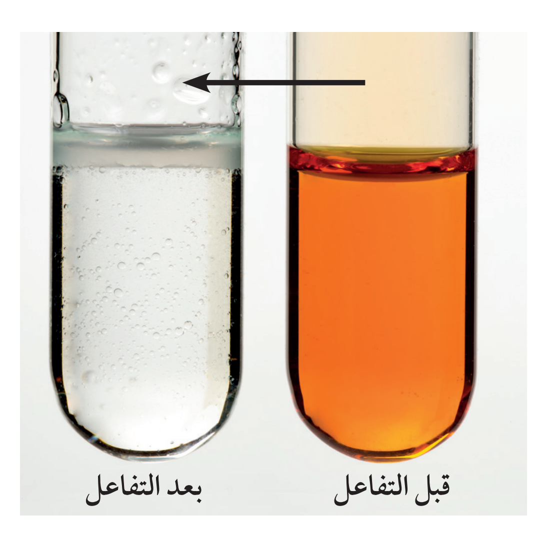
الهدرجة Hyrogenation: تفاعل إضافة الهيدروجين إلى المركبات غير المشبعة.

إضافة الهالوجين (X_2)

يحدث هذا التفاعل عند إضافة الألكين إلى محلول الكلور أو البروم عند درجة حرارة الغرفة. وإذا تمّ استخدام فائض من الألكين فسوف يتلاشى لون محلول الهالوجين تدريجيًا خلال حدوث التفاعل حتى يختفي تمامًا. فمثلًا يُستخدم ماء البروم لاختبار وجود الرابطة C=C في بعض المركبات، بحيث يُخلط المركب المراد اختباره بماء البروم ويرجّ جيدًا؛ فإذا كان المركب غير مشبع، فإن لون ماء البروم سيختفي (يصبح المحلول عديم اللون) (الصورة ٩-٩).



الشكل ٩-٥ تفاعل الإيثين مع البروم.



الصورة ٩-٩ تفاعل إضافة ماء البروم مع هيدروكربون غير مشبع.

إضافة هاليد الهيدروجين HX

عند تفاعل ألكين ما مع غاز هاليد الهيدروجين أو عند تمرير ألكين غازي في شكل فقاعات عبر محلول مركّز لهاليد الهيدروجين سواء (HF) أو (HCl) أو (HBr) أو(HI) عند درجة حرارة الغرفة، تكون المادة الناتجة هالوجينوألكان، كما في معادلة تفاعل الإيثين مع بروميد الهيدروجين:

$$CH_2{=}CH_2 + HBr \rightarrow CH_3CH_2Br$$

إيثين   بروموإيثان

الإيثين هو ألكين متماثل لذلك تضاف إليه ذرّتا H و Br، وبالتالي لن يكون مهمًا إضافة الذرتين H وBr إلى أي من ذرتي الكربون، حيث ستتكوّن المادة الناتجة نفسها، وهي البروموإيثان.

لكن عندما يكون الألكين غير متماثل، فهناك دائمًا مادتان ناتجتان محتملتان يمكن تكوينهما. فعلى سبيل المثال، يعد البروبين ألكينًا غير متماثل ويمكن إضافة HBr إلى الرابطة الثنائية بإحدى الطريقتين المحتملتين الموضحتين أدناه:

$$CH_3CH{=}CH_2 + HBr \rightarrow CH_3CH_2CH_2Br$$

بروبين   1 – بروموبروبان

و

$$CH_3CH{=}CH_2 + HBr \rightarrow CH_3CHBrCH_3$$

بروبين   2 – بروموبروبان

فعليًا سترتبط ذرة الهيدروجين من HBr بذرة الكربون في الرابطة الثنائية C=C التي تمتلك عددًا أكبر من ذرات الهيدروجين، وترتبط ذرة Br بذرة الكربون التي تحتوي على عدد أقل من ذرات الهيدروجين وفق قاعدة ماركوفنيكوف Marlovnikov's rule. لهذا، يكون المركب ($CH_3CHBrCH_3$) في المعادلة الثانية هو المادة الناتجة الرئيسية. سيتم توضيح ذلك من خلال دراسة آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لاحقًا.

مهمّ

عندما تكون هناك مادتان ناتجتان محتملتان من تفاعل الإضافة كما في المثال السابق، فإن المادة الناتجة الرئيسية هي تلك التي ترتبط فيها ذرة الهالوجين في HX، بذرة الكربون في الرابطة C=C التي تمتلك العدد الأقل من ذرات الهيدروجين أو العدد الأكبر من مجموعات الألكيل. أو بصياغة أخرى، إن ذرة H في HX سترتبط دائمًا بذرة الكربون في الرابطة C=C التي ترتبط بالعدد الأكبر من ذرات H. ويُعرف هذا باسم قاعدة **ماركوفنيكوف Markovnikov's rule**.

إضافة بخار الماء $H_2O(g)$

يتفاعل بخار الماء مع الألكين الغازي عند درجة حرارة 300°C وضغط 60 atm، وبوجود حمض الفوسفوريك المركّز (H_3PO_4)، كعامل حفّاز وهذه طريقة تحضير الكحولات صناعيًا. فعندما يكون الألكين هو الإيثين، تكون المادة الناتجة هي الإيثانول (الشكل (٩-٦)).

إيثانول ⇌ (حمض فوسفوريك مركّز، 300°C , 60 atm) بخار الماء + إيثين

$$C_2H_5OH \underset{300°C,\ 60\ atm}{\overset{H_3PO_4}{\rightleftharpoons}} H_2O(g) + CH_2{=}CH_2$$

(حمض فوسفوريك مركّز ⇌ تسخين وضغط مرتفع)

الشكل ٩-٦ تفاعل إضافة بخار الماء إلى الإيثين.

سؤال

٥ أ. اذكر الظروف المناسبة للتفاعل الذي يحدث بين الألكينات والهيدروجين.

ب. سمِّ المادة الناتجة من تفاعل البروبين مع الكلور.

ج. ارسم الصيغة الموسعّة للمادتَين الناتجتَين المحتملتَين عندما يتفاعل 1 - بيوتين مع كلوريد الهيدروجين.

د. يُستخدم الإيثانول كمذيب عضوي، كيف يتم إنتاجه صناعيًا؟

آلية حدوث الإضافة الإلكتروفيلية إلى الألكينات

لقد درست في الموضوع ٨-٣ أن الرابطة الثنائية في الإيثين تتكوّن من رابطة (σ) ورابطة (π). وعلى الرغم من أن هذا الجزيء غير قطبي إلّا أنه يمتلك منطقة ذات كثافة إلكترونية مرتفعة حول الرابطة الثنائية C=C. وهذا يجعل الألكينات قابلة للهجوم من قبل الإلكتروفيلات كما هو موضح في الموضوع ٨-٥.

فالإلكتروفيل هو مستقبل لزوج من الإلكترونات. فمثلًا (HBr) جزيء قطبي حيث تحمل ذرة (Br) شحنة جزئية سالبة (δ-)، في حين تحمل ذرة (H) شحنة جزئية موجبة (δ+). وفي آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية، تستقبل ذرة الهيدروجين زوجًا من الإلكترونات من الرابطة C=C في الألكين. والشكل (٩-٧) يوضح آلية حدوث تفاعل **الإضافة الإلكتروفيلية Elecrtophilic addition**

$$CH_2{=}CH_2 + H^{\delta+}{-}Br^{\delta-} \longrightarrow CH_3{-}\overset{+}{C}H_2 + :Br^- \longrightarrow CH_2Br{-}CH_3$$

(كاتيون كربوني)

الشكل ٩-٧ آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لبروميد الهيدروجين إلى الإيثين.

مصطلحات علمية

الإضافة الإلكتروفيلية Elecrtophilic addition: التفاعل الذي ينجذب خلاله إلكتروفيل إلى الرابطة الثنائية لألكين وتتم إضافته إلى هذه الرابطة، التي تتكسر بشكل غير متجانس ليتكوّن كاتيون كربوني يرتبط مع الأيون السالب.

ويمكن شرح تسلسل آلية حدوث التفاعل على النحو الآتي:

١. يكون طرف الجزيء بروميد الهيدروجين (HBr) الذي يحمل الشحنة الجزئية الموجبة (+δ) منجذبًا نحو الرابطة الثنائية ذات الكثافة الإلكترونية.

٢. تتكسر الرابطة باي (π) في C=C بشكل غير متجانس (الموضوع ٨-٥)، ويتم تمثيل ذلك باستخدام سهم منحنٍ.

٣. يتحرك زوج إلكترونات الرابطة باي (π) نحو ذرة الهيدروجين H (الإلكتروفيل) لتكوين رابطة تساهمية جديدة C–H. ويتكوّن كاتيون كربوني نتيجة فقدان زوج الإلكترونات من الرابطة الثنائية.

٤. في الوقت نفسه، تتكسر الرابطة الموجودة بين (H) و(Br) أيضًا بشكل غير متجانس، ويتم تمثيل ذلك مرة أخرى بسهم منحنٍ، فيتحرك زوج إلكترونات الرابطة نحو ذرة البروم التي تتحول إلى أيون بروميد (Br^-).

٥. ينجذب أيون البروميد الذي يحمل شحنة سالبة إلى الكاتيون الكربوني ذي الشحنة الموجبة.

٦. يقوم أيون البروميد (Br^-) بمنح زوج منفرد من الإلكترونات إلى الكاتيون الكربوني (يوضح ذلك بسهم منحنٍ) لتكوين رابطة جديدة C–Br. فيتكوّن جزيء البروموإيثان.

عرفت سابقًا كيف يسلك بروميد الهيدروجين (HBr)، كإلكتروفيل، ولكن كيف يمكن لجزيء غير قطبي مثل (Br_2) أن يتفاعل كإلكتروفيل أيضًا؟

عندما يقترب جزيء البروم من جزيء الإيثين، تقوم منطقة الكثافة الإلكترونية المرتفعة حول الرابطة C=C بدفع زوج الإلكترونات في الرابطة Br–Br بعيدًا عن ذرة (Br) الأقرب إلى الرابطة C=C؛ وهذا ما يجعل ذرة (Br) الأقرب موجبة قليلًا وذرة (Br) الأبعد سالبة قليلًا. يوضح الشكل (٩-٨) آلية حدوث هذه الإضافة الإلكتروفيلية.

الشكل ٩-٨ آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية للبروم إلى الإيثين.

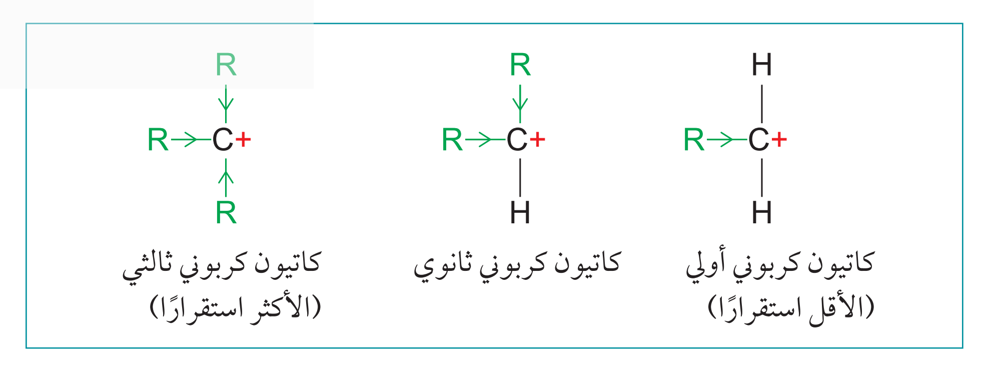
وأثناء تكوّن الرابطة الجديدة بين ذرتي الكربون والبروم تتكسر الرابطة Br–Br بشكل غير متجانس، فيتكوّن أيون البروميد (Br^-) الذي يهاجم الكاتيون الكربوني الوسيط النشط كيميائيًا، وينتج من ذلك المركب 2،1 – ثنائي بروموإيثان.

ويمكن شرح المواد الناتجة الرئيسية والثانوية التي تنتج من التفاعل الذي يحدث بين الألكينات غير المتماثلة، مثل تفاعل البروبين وهاليدات الهيدروجين بالرجوع إلى درجة استقرار الكاتيون الكربوني المتكوّن والموضّح في آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية (الشكل ٩-٩).

الشكل ٩-٩ آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لبروميد الهيدروجين إلى البروبين (ألكين غير متماثل). (أ) تكوين كاتيون كربوني أولي، (ب) تكوين كاتيون كربوني ثانوي.

يوضح الشكل (٩–١٠) أن هناك كاتيونَين كربونيَّين محتملَين يمكن أن يتكوّنا عند إضافة ذرة (H) إلى الرابطة الثنائية: **كاتيون كربوني أولي Primary carbocation** عند إضافة ذرة (H) إلى ذرة الكربون الثانية الوسطى (المرتبطة بذرة H واحدة)، أو **كاتيون كربوني ثانوي Secondary carbocation** عند إضافة ذرة (H) إلى ذرة الكربون الطرفية (المرتبطة بذرتي H).

الكاتيون الكربوني الأولي هو جسيم يحتوي على مجموعة ألكيل واحدة مرتبطة بذرة الكربون (C+)، في حين أن الكاتيون الكربوني الثانوي يحتوي على مجموعتَي ألكيل مرتبطتَين بذرة الكربون (C+). أما إذا كان هناك ثلاث مجموعات ألكيل مرتبطة بذرة الكربون (C+) فيسمى **كاتيون كربوني ثالثي Tertiary carbocation**. وهذه الأنواع الثلاثة من الكاتيونات الكربونية الموضّحة في الشكل (٩–١٠)، تتكوّن غالبًا كمركبات وسيطة في آليات حدوث التفاعلات العضوية. فكلما كان الكاتيون الكربوني الوسيط أكثر استقرارًا، زاد احتمال تكوّنه وبالتالي تفاعله، لتكوين المادة الناتجة.



الشكل ٩–١٠ الكاتيونات الكربونية وحالات استقرارها.

ونظرًا لأن ذرة الكربون ذات الشحنة الموجبة تمتلك ثلاث روابط تساهمية فقط، وليس أربعًا كالمعتاد، فإن هذا يجعل منها ذرة لديها نقص في الإلكترونات. وتميل أيّة مجموعات ألكيل مثل (CH_3)، (C_2H_5)، (C_3H_7) مرتبطة بذرة الكربون ذات الشحنة الموجبة إلى أن تكون مانحة للإلكترونات. لذا تمتلك مجموعات الألكيل **تأثيرًا حثيًا Inductive effect** موجبًا. وتُستخدم رؤوس الأسهم الموجودة على الروابط في الشكل (٩–١٠) لتوضيح التأثير الحثي للذرات أو مجموعات الذرات، واتجاه هذا التأثير.

وتعمل مجموعات الألكيل على دفع إلكتروناتها بعيدًا عنها ونحو الكاتيون الكربوني، وبالتالي تقليل كثافة الشحنة الموجبة الموجودة على الكاتيون. وهذا ما يؤدي إلى انتشار الشحنة حول الكاتيون الكربوني، الأمر الذي يجعله أكثر استقرارًا من حيث الطاقة، وهذا يعني أن الكاتيون الكربوني الثالثي، المرتبط بثلاث مجموعات ألكيل مانحة للإلكترونات هو الأكثر استقرارًا من حيث الطاقة من بين الأنواع الثلاثة من الكاتيونات الكربونية. ونتيجة لذلك، سيكون تكوّن الكاتيونات الكربونية الثالثية في آليات حدوث التفاعلات أكثر احتمالًا من تكوّن الكاتيونات الكربونية الثانوية، ويكون تكوّن الكاتيونات الكربونية الأولية الأقل احتمالًا.

مهمّ

كلما ازداد عدد مجموعات الألكيل (R) المرتبطة بذرة الكربون ذات الشحنة الموجبة، كان الكاتيون الكربوني أكثر استقرارًا.

مصطلحات علمية

كاتيون كربوني أولي Primary carbocation: وسيط هيدروكربوني يحمل شحنة موجبة ويحتوي على مجموعة ألكيل واحدة مرتبطة بذرة الكربون (C+)، وهو أقل أنواع الكاتيونات الكربونية استقرارًا.

كاتيون كربوني ثانوي secondary carbocation: وسيط هيدروكربوني يحمل شحنة موجبة ويحتوي على مجموعتَي ألكيل مرتبطتَين بذرة الكربون (C+).

كاتيون كربوني ثالثي Tertiary carbocation: وسيط هيدروكربوني يحمل شحنة موجبة ويحتوي على ثلاث مجموعات ألكيل مرتبطة بذرة الكربون (C+)، وهو أكثر أنواع الكاتيونات الكربونية استقرارًا.

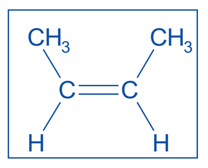
التأثير الحثي Inductive effect: التشارك غير المتكافئ للإلكترونات على طول رابطة تساهمية ما. فيقال إن الجسيمات المانحة للإلكترونات، كمجموعة ألكيل مثلًا، تمتلك تأثيرًا حثيًا موجبًا، في حين أن الجسيمات الجاذبة للإلكترونات، كذرة الأكسجين أو الكلور مثلًا، تمتلك تأثيرًا حثيًا سالبًا.

مثال

٢. ارسم آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لبروميد الهيدروجين إلى سيس - 2 - بيوتين.

الحلّ:

الخطوة ١: ارسم الصيغة الموسعة لسيس - 2 - بيوتين. اجعل الروابط طويلة بما يكفي لرسمها بشكل واضح في وقت لاحق.



الخطوة ٢: ارسم H–Br بالقرب من سيس- 2 - بيوتين، ولكن بعيدًا بما يكفي لتتمكن من رسم سهم منحنٍ بسهولة بين الجزيئَين.

ولأن الرابطة الثنائية غنية بالإلكترونات، يجب أن تكون مواجهة للذرة الأقل سالبية كهربائية في (HBr)، أي ذرة الهيدروجين.

أضف القطبية إلى الرابطة H–Br بحيث تحمل (H) الشحنة الجزئية الموجبة (δ+)، وتحمل (Br) الشحنة الجزئية السالبة (δ−).

الخطوة ٣: أضف الأسهم المنحنية إلى المخطط كما يأتي:

- من منتصف الرابطة الثنائية C=C نحو ذرة (H) التي تحمل الشحنة الجزئية الموجبة (δ+).
- من منتصف الرابطة H–Br نحو ذرة (Br) التي تحمل الشحنة الجزئية السالبة (δ−).

تذكّر أن اتجاه السهم المنحني يكون دائمًا من زوج الإلكترونات نحو ذرة. ويمكن أن يكون زوج الإلكترونات إما زوجًا منفردًا على الذرة أو ضمن رابطة.

الخطوة ٤: ابدأ المرحلة التالية لآلية حدوث التفاعل برسم الكاتيون الكربوني المتكوّن.

يمكن القيام بذلك كما يلي:

- رسم الألكين مرة أخرى، ولكن باستبدال الرابطة الثنائية برابطة أحادية.
- إضافة ذرة (H) إلى إحدى ذرتَي الكربون التي كانت جزءًا من الرابطة الثنائية.
- إضافة شحنة موجبة إلى ذرة الكربون الأخرى التي كانت تمثل الجزء الثاني من الرابطة الثنائية.

تابع

$$H-\underset{H}{\overset{CH_3}{C}}-\overset{CH_3}{C^+}-H$$

لاحظ أن ذرة الكربون التي تحمل الشحنة الموجبة تمتلك ثلاث روابط فقط، في حين أن ذرات الكربون الأخرى جميعها تمتلك أربع روابط.

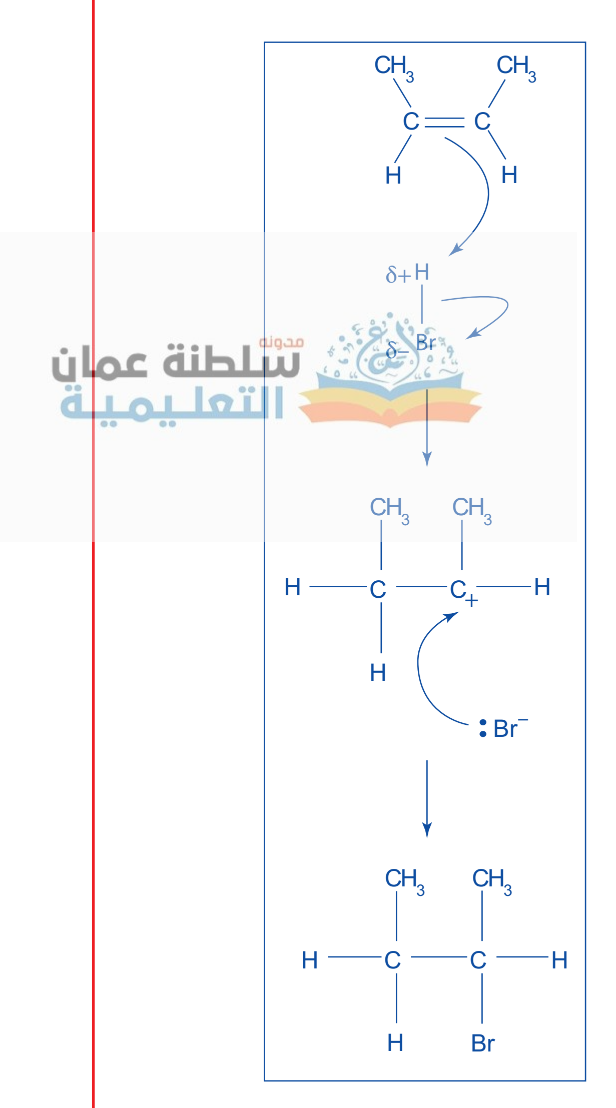
الخطوة ٥: أضف أيون (Br^-) إلى المخطط، بالقرب من ذرة (C^+).

أضف إلى الأيون (Br^-) الزوج المنفرد من الإلكترونات الذي تمّ الحصول عليه من الرابطة H–Br.

بعد ذلك ارسم سهمًا منحنيًا يتجه من زوج الإلكترونات المنفرد الموجود على الأيون (Br^-) نحو ذرة الكربون (C^+) في الكاتيون الكربوني.

$$H-\underset{H}{\overset{CH_3}{C}}-\overset{CH_3}{C^+}-H \qquad :Br^-$$

الخطوة ٦: أكمل آلية حدوث التفاعل برسم المادة الناتجة، 2 – برومو بيوتان.



سؤال

٦ **أ.** عرّف مصطلح الإلكتروفيل.

ب. ما الذي يمثله السهم المنحني في آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية؟

ج. اشرح كيف يمكن أن يسلك جزيء الكلور كإلكتروفيل في تفاعله مع ألكين.

د. ارسم آلية التفاعل الذي يحدث بين الإيثين والكلور وناقشها.

هـ. تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لبروميد الهيدروجين إلى ميثيل البروبين يمكن أن ينتج 1 – برومو –2 – ميثيل بروبان، و2 – برومو – 2 – ميثيل بروبان.

١. ما سبب تكوّن مادتين ناتجتين؟

٢. أيهما تعد المادة الناتجة الرئيسية؟

٣. اشرح سبب تكوّن كميّة أكبر من المادة الناتجة الرئيسية في ضوء استقرار الكاتيون الكربوني.

أكسدة الألكينات

يمكن أكسدة الألكينات بوساطة محلول مخفّف وبارد أو عند درجة حرارة الغرفة من منجنات (VII) البوتاسيوم (برمنجنات البوتاسيوم) ($KMnO_4$) في وسط حمضي، والذي يُعدّ عاملًا مؤكسدًا قويًا. فإذا تمّ خلط الألكين مع محلول مخفّف من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي ورجّهما معًا، فسيتحوّل الألكين إلى دايول (ثنائي الكحول)، أي إلى مركب يحتوي على مجموعتي هيدروكسيل (O–H)، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$H_2C{=}CH_2 + H_2O + [O] \longrightarrow H{-}\overset{OH}{\underset{H}{C}}{-}\overset{OH}{\underset{H}{C}}{-}H$$

إيثين　　　　إيثان-1،2-دايول (إيثيلين جليكول)

ويمكن استخدام هذا التفاعل كاختبارٍ لمعرفة ما إذا كان المركب غير مشبع (ألكين أو ألكاين)، وذلك لأن لون محلول منجنات (VII) البوتاسيوم بنفسجي، ويصبح عديم اللون عندما يؤكسد الألكين، بينما لا تتفاعل الهيدروكربونات المشبعة على الإطلاق مع محلول مخفّف من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي. إلّا أن اختبار المركبات غير المشبعة باستخدام ماء البروم يعد الأكثر استخدامًا (الصورة ٩-٩).

سؤال

٧ أ. ارسم الصيغة الموسعة للمادة العضوية المتكوّنة عند أكسدة البروبين بوساطة محلول مخفّف وبارد من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي. ثم سمِّ هذا المركب.

ب. ارسم الصيغة الموسعة للمادة العضوية المتكوّنة عند أكسدة 2 – بيوتين بوساطة محلول مخفّف وبارد من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي. ثم سمِّ هذا المركب.

ج. ١. ما التغير في اللون الذي تتم ملاحظته عندما يتفاعل ألكين ما مع محلول مخفّف وبارد من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي؟

٢. اقترح مادة متفاعلة أخرى يمكن استخدامها لاختبار الألكينات. حدد التغير في اللون الذي تتم ملاحظته في هذا الاختبار.

٩-٣ الهالوجينوألكانات

تصنيف الهالوجينوألكانات

عند إحلال ذرة هالوجين واحدة أو أكثر محل ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر في الألكانات ينتج عنها مركبات تسمى **الهالوجينوألكانات Halogenoalkanes**. والهالوجينات هي العناصر الموجودة في المجموعة 17 (VII) من الجدول الدوري، وهي الفلور (F) والكلور (Cl) والبروم (Br) واليود (I).

والهالوجينوألكانات الأبسط هي تلك التي تحتوي جزيئاتها على ذرة هالوجين واحدة فقط، وتمتلك الصيغة العامة ($C_nH_{2n+1}X$)، حيث إن X تمثل: (F) أو (Cl) أو (Br) أو (I). وتسمى مركبات هذه السلسلة: الفلوروألكانات، والكلوروألكانات، والبروموألكانات، واليودو ألكانات على التوالي.

تمتلك ذرة الهالوجين تأثيرًا كبيرًا على الخصائص الفيزيائية للهالوجينوألكانات مقارنة بالألكانات. وذلك لأن ذرة الهالوجين تمتلك كتلة أكبر وعدد إلكترونات أكثر من ذرتي الكربون والهيدروجين، كما أنها تجعل الجزيئات أكثر قطبية. وبالتالي، تكون القوى بين-الجزيئات أقوى (انظر الوحدة ٣). كما أن وجود ذرة الهالوجين يجعل الهالوجينوألكانات أكثر نشاطًا كيميائيًا من الألكانات بسبب الطبيعة القطبية للرابطة التساهمية بين ذرة الكربون و ذرة الهالوجين، مقارنة بالروابط غير القطبية الموجودة في جزيئات الألكان. ويحمل الكربون المرتبط بالهالوجين شحنة جزئية موجبة، في حين يحمل الهالوجين شحنة جزئية سالبة، وذلك لأن الهالوجينات أكثر كهروسالبية من الكربون.

وتصنف الهالوجينوألكانات وفقًا لتراكيبها البنائية إلى:

١. **هالوجينوألكانات أولية Primary halogenoalkane**، تكون ذرة الكربون المرتبطة بالهالوجين مرتبطة أيضًا بمجموعة ألكيل واحدة فقط. ومثال على ذلك الكلوروميثان والكلوروإيثان.

٢. **هالوجينوألكانات ثانوية Secondary halogenoalkanes** تكون ذرة الكربون المجاورة لذرة الهالوجين مرتبطة بمجموعتَي ألكيل مثل 2-كلوروبنتان.

٣. **هالوجينوألكانات ثالثية Tertiary halogenoalkanes** تمتلك ثلاث مجموعات ألكيل مرتبطة بذرة الكربون المجاورة لذرة الهالوجين، مثل 3-كلورو-3-ميثيل هكسان.

ويمكن لنوع التركيب البنائي أيضًا أن يؤثر على الخصائص الفيزيائية والنشاط الكيميائي للهالوجينوألكانات. يوضح الجدول (٩-١) أمثلة على تراكيب بنائية مختلفة للهالوجينوألكانات.

مصطلحات علمية

الهالوجينوألكان Halogenoalkane: سلسلة متجانسة تم فيها استبدال ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر في الألكان بذرة هالوجين واحدة أو أكثر.

هالوجينوألكان أولي Primary halogenoalkane: جزيء يحتوي على ذرة كربون مرتبطة بذرة هالوجين واحدة وبمجموعة ألكيل واحدة فقط (أو بذرة كربون أخرى واحدة فقط).

هالوجينوألكان ثانوي Secondary halogenoalkane: جزيء يحتوي على ذرة كربون مرتبطة بذرة هالوجين واحدة وبمجموعتي ألكيل (أو بذرتي كربون أخريين).

هالوجينوألكان ثالثي Tertiary halogenoalkane: جزيء يحتوي على ذرة كربون مرتبطة بذرة هالوجين واحدة وبثلاث مجموعات ألكيل (أو بثلاث ذرات كربون أخرى).

هالوجينوألكان أولي		هالوجينوألكان ثانوي	هالوجينوألكان ثالثي
$H-\overset{H}{\underset{H}{C}}-Cl$	$CH_3-\overset{H}{\underset{H}{C}}-Cl$	$CH_3-\overset{H}{\underset{CH_2CH_2CH_3}{C}}-Cl$	$CH_3-\overset{CH_2CH_3}{\underset{CH_2CH_2CH_3}{C}}-Cl$
كلوروميثان	كلوروإيثان	2 – كلوروبنتان	3 – كلورو – 3 – ميثيل هكسان

الجدول ٩–١ أمثلة على هالوجينوألكانات أولية وثانوية وثالثية.



سؤال

٨ **أ.** المركب 6،2–ثنائي برومو – 3،2 – ثنائي كلورو– 4 – ميثيل هبتان هو هالوجينوألكان.

١. اكتب صيغته البنائية.

٢. ارسم صيغته الموسعة.

٣. ارسم صيغته الهيكلية.

ب. اشرح سبب امتلاك 1 – برومو بروبان درجة غليان أكبر من درجة غليان البروبان.

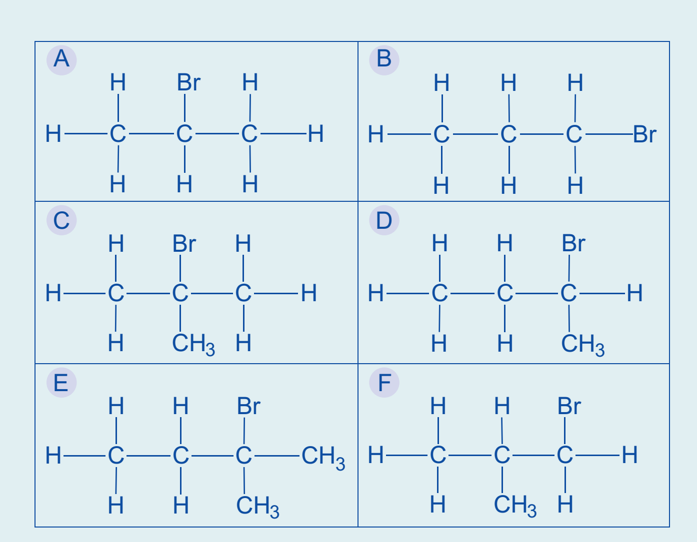
ج. تكون الرابطة C–I أقل قطبية من الرابطة C–F. اشرح إجابتك.

د. أيٌّ من البروموألكانات الآتية يمتلك:

١. تراكيب بنائية أولية

٢. تراكيب بنائية ثانوية

٣. تراكيب بنائية ثالثة



تحضير الهالوجينوألكانات

يوجد عدد قليل جدًا من الهالوجينوألكانات في الطبيعة. ويتم تحضير معظمها عن طريق التفاعلات الكيميائية بين المركبات العضوية وهالوجين أو هاليد.

والتفاعلات الرئيسية لتحضير الهالوجينوألكانات هي:

- تفاعل الاستبدال بالجذر الحر للألكانات بالكلور (Cl_2) أو البروم (Br_2)، بوجود الأشعة فوق البنفسجية (UV)، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{\text{أشعة uv}} CH_3CH_2Cl + HCl$$

- تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية لألكين مع هالوجين X_2 أو هاليد الهيدروجين HX، عند درجة حرارة الغرفة، كما هو موضح في المعادلتَين الآتيتَين:

$$CH_2{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_2BrCH_2Br$$

$$CH_2{=}CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3CH_2Cl$$

- تفاعل الاستبدال في الكحولات، على سبيل المثال:
  - عند تفاعل الكحولات مع HX، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2OH + HBr \longrightarrow CH_3CH_2Br + H_2O$$

وتعد هاليدات الهيدروجين غازات ضارة ويصعب التعامل معها. بالنسبة إلى هذا التفاعل، يكون من الأسهل تحضير هاليدات الهيدروجين (مثل HBr) عن طريق تفاعل حمض الكبريتيك المركز مع هاليد البوتاسيوم المناسب (مثل KBr) في وعاء التفاعل نفسه الذي يحتوي على الكحولات. حيث يتم التفاعل وفق المعادلة الآتية:

$$H_2SO_4 + KBr \longrightarrow HBr + KHSO_4$$

  - عند تفاعله مع (PCl_5) عند درجة حرارة الغرفة، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$C_2H_5OH + PCl_5 \longrightarrow C_2H_5Cl + HCl + POCl_3$$

  - عند تفاعله مع ($SOCl_2$)، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$C_2H_5OH + SOCl_2 \longrightarrow C_2H_5Cl + HCl + SO_2$$

سؤال

٩ **أ.** اذكر المواد المتفاعلة والظروف التي يمكنك استخدامها لإنتاج 1 – برومو بيوتان من البيوتان.

ب. اذكر المواد المتفاعلة التي يمكنك استخدامها لإنتاج 1،2 – ثنائي كلورو بروبان.

ج. يمكن تحضير الهالوجينوألكانات من الكحولات.

١. اذكر الكحول الذي يمكنك استخدامه لتحضير 2 – كلوروبنتان.

٢. اذكر المادة المتفاعلة التي يمكنك استخدامها لتحضير 2 – كلوروبنتان من الكحول المستخدم في الجزئية ١.

٣. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للتفاعل في الجزئية ٢.

تفاعلات الاستبدال النيوكليوفيلي

تفاعل الاستبدال مع محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي، NaOH(aq)

عند تسخين محلول مائي من هيدروكسيد الصوديوم مع هالوجينوألكان، يحدث تفاعل استبدال نيوكليوفيلي **Nucleophilic substitution**. فيتم استبدال ذرة الهالوجين في الهالوجينوألكان بمجموعة هيدروكسيل OH^-، وتكون المادة الناتجة كحول، وذلك وفق المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{بروموإيثان}}{CH_3CH_2Br} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{إيثانول}}{CH_3CH_2OH} + NaBr$$

ويمكننا توضيح ذلك بالمعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3CH_2OH + Br^-$$

مصطلحات علمية

استبدال نيوكليوفيلي Nucleophilic substitution: آلية حدوث تفاعل عضوي يهاجم فيه النيوكليوفيل ذرة الكربون التي تحمل شحنة جزئية موجبة ($\delta+$). فينتج منه استبدال الذرة التي تحمل شحنة جزئية سالبة ($\delta-$) بوساطة النيوكليوفيل.

يسلك أيون الهيدروكسيد هنا كنيوكليوفيل؛ لأنه يمنح زوجًا من الإلكترونات إلى ذرة الكربون المرتبطة بالهالوجين في الهالوجينوألكان. لهذا السبب يسمى هذا النوع من التفاعلات بتفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي.

الاستبدال مع الماء

ويُعدّ الماء نيوكليوفيلَ آخر يتفاعل مع الهالوجينوألكانات. وهذا النوع من تفاعلات الاستبدال النيوكليوفيلي يُعرف باسم التحلل المائي (التكسير بوساطة الماء)، كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$CH_3CH_2Br + H_2O \longrightarrow CH_3CH_2OH + H^+ + Br^-$$

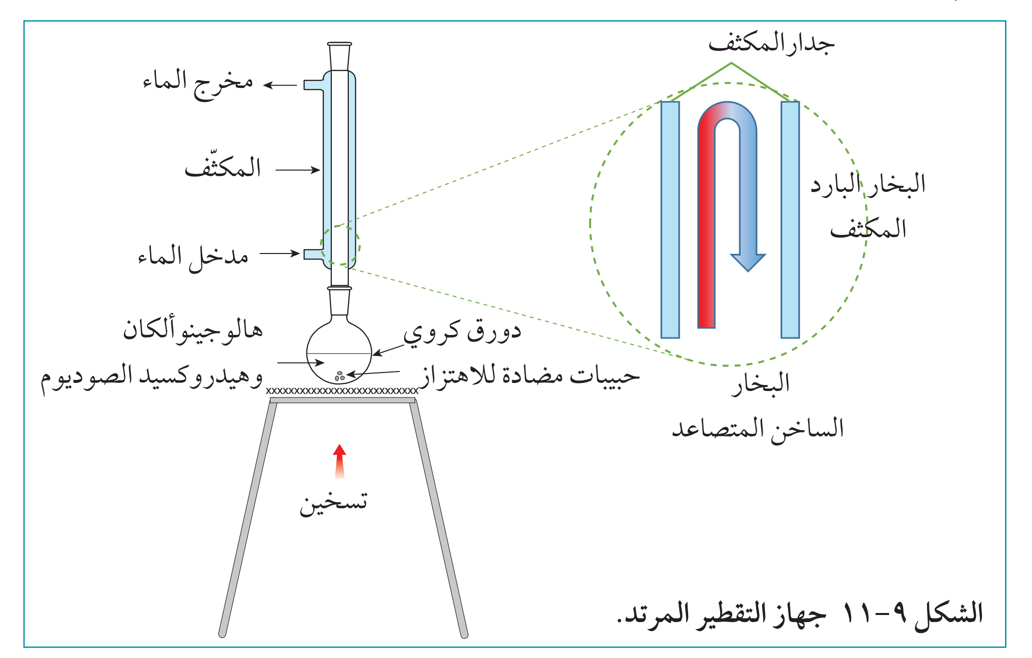
وهذا التفاعل مشابه بشكل كبير للتفاعل الذي يحدث مع المحلول القلوي المائي، ويكون الكحول هو المادة العضوية الناتجة مع أيون الهاليد.

ومع ذلك، يكون التحلل المائي أبطأ من التفاعل مع أيون الهيدروكسيد $OH^-(aq)$. وذلك لأن أيون الهيدروكسيد نيوكليوفيل أكثر نشاطًا كيميائيًّا من جزيء الماء المتعادل (H_2O). ويعود ذلك إلى أن ذرة الأكسجين الموجودة في جزيء الماء، تحمل فقط شحنة جزئية سالبة $(\delta-)$، في حين أن ذرة الأكسجين الموجودة في أيون الهيدروكسيد (OH^-)، تحمل شحنة سالبة كاملة، وتكون بالتالي أشدّ انجذابًا نحو ذرة الكربون التي لديها نقص في الإلكترونات.

مهارات عمليّة ٩-١

التسخين باستخدام جهاز التقطير المرتد (Reflux heating)

إن تفاعلات الهالوجينوألكانات التي تُجرى في المختبر وتحتاج إلى التسخين يجب أن تتم باستخدام جهاز التقطير المرتد (Reflux). يسمح جهاز التقطير المرتد بتسخين مخلوط التفاعل لمدة زمنية طويلة من دون فقدان المركبات العضوية المتطايرة من وعاء التفاعل. يوضح الشكل (٩-١١) الجهاز المستخدم وعملية الارتداد، بحيث يوضع مخلوط التفاعل (محلول الهالوجينوألكان وهيدروكسيد الصوديوم مثلًا) في دورق كروي. وتتم إضافة بعض الحبيبات المضادة للاهتزاز ليضمن تسخين السائل وغليانه بشكل متساوٍ (متجانس). يتم وضع مكثف في الجزء العلوي من الدورق الكروي، بحيث يدخل الماء البارد من أسفل غلاف المكثف ويخرج من الأعلى. والغرض من ذلك هو تبريد الأبخرة الساخنة للمركبات العضوية بحيث تتكثف وتعود مرة أخرى إلى مخلوط التفاعل في الدورق.



الشكل ٩-١١ جهاز التقطير المرتد.

مهارات عمليّة ٩-٢

تحديد الهالوجينوألكانات باستخدام محلول نترات الفضة المائي

يسمح التحلل المائي لهالوجينوألكان ما بالكشف عن الهالوجين الموجود باستخدام محلول نترات الفضة المائي. حيث يسلك الماء في هذا المحلول كنيوكليوفيل، ويمكن وصف اختبار بسيط لتحديد نوع الهالوجينوألكان كما يلي:

١. تتم إضافة بضع قطرات من الهالوجينوألكان إلى 2–3 mL من الإيثانول لإذابته. يسمح الإيثانول للهالوجينوألكان بالاختلاط مع المواد المتفاعلة.

٢. تتم إضافة 2–3 mL من محلول نترات الفضة المائي إلى محلول الهالوجينوألكان ويتم تسخين المخلوط بلطف. الماء في المحلول المائي يحلل الهالوجينوألكان وينتج أيونات الهاليد.

٣. تتفاعل أيونات الهاليد مع أيونات الفضة وتنتج راسبًا من أنواع رواسب هاليد الفضة وفقًا للمعادلة الأيونية الآتية:

$$Ag^+(aq) + X^-(aq) \longrightarrow AgX(s)$$

توضح الصورة (٩-١٠) النتائج المتوقعة وهي تكون كما يلي:

- راسب أبيض (كلوريد الفضة) لتأكيد وجود الكلوروألكان.
- راسب قشدي (بروميد الفضة) لتأكيد وجود البروموألكان.
- راسب أصفر (يوديد الفضة) لتاكيد وجود اليودوألكان.



الصورة ٩-١٠ نتائج اختبار الهالوجينوألكانات.

ويمكن استقصاء سرعة التحلل المائي باستخدام محلول نترات الفضة المائي، حيث يسلك الماء في محلول نترات الفضة كنيوكليوفيل. وعندما يتكوّن أيون الهاليد، يتفاعل مع نترات الفضة لينتج راسبًا من هاليد الفضة، وفق المعادلة الآتية:

$$Ag^+(aq) + X^-(aq) \longrightarrow AgX(s)$$

وعند استقصاء النشاط الكيميائي للهالوجينوألكانات يجب أن تكون تراكيبها البنائية متماثلة؛ وتُعدّ المركبات 1 – كلوروبيوتان، و1 – بروموبيوتان، و 1 – يودوبيوتان مناسبة، لأنها هالوجينوألكانات أولية وتمتلك طول السلسلة نفسه. فتتم إذابة كل هالوجينوألكان في الإيثانول في أنبوبة اختبار منفصلة ثم يخلط المحلول الناتج مع محلول نترات الفضة.

ومن خلال مراقبة كل تفاعل، يمكن تحديد المدة الزمنية التي تستغرقها كل أنبوبة اختبار لتصبح معتمة مع تكوّن راسب هاليد الفضة.

ويتضمن تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي كسر الرابطة كربون–هالوجين. وتساعدنا قيم طاقة الرابطة الموضحة في الجدول (٩-٢) على دراسة معدلات سرعة تفاعلات الهالوجينوألكانات.

لاحظ أن الرابطة C–I هي الأضعف، لذا هي تتكسر بسهولة. وعندما تتكسر الرابطة C–I أثناء حدوث التفاعل، يتكوّن الأيون I^- حيث تتكسر الرابطة بشكل غير متجانس، فتأخذ ذرة اليود كلا إلكترونَي الرابطة C–I.

الرابطة	طاقة الرابطة (kJ/mol)
C–F	467 (الرابطة الأقوى)
C–Cl	346
C–Br	290
C–I	228 (الرابطة الأضعف)

الجدول ٩-٢ قيم طاقة الرابطة للروابط كربون – هالوجين.

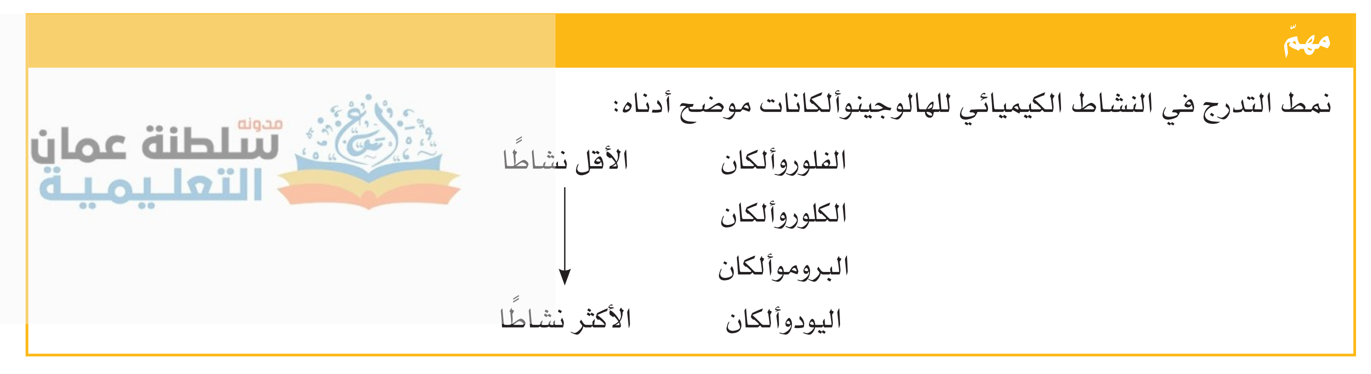
ثم يرتبط أيون اليوديد بأيون الفضة Ag^+ ليكوّن راسب يوديد الفضة. ويظهر هذا بشكل واضح في المعادلتين الآتيتين:

$$CH_3CH_2CH_2CH_2I + H_2O \longrightarrow CH_3CH_2CH_2CH_2OH + H^+ + I^-$$

1 – يودوبيوتان   1 – بيوتانول

$$Ag^+(aq) + I^-(aq) \longrightarrow AgI(s)$$

بالمقارنة مع 1 – كلوروبيوتان أو 1 – بروموبيوتان فإن الراسب في تفاعل 1 – يودوبيوتان سيتكوّن بسرعة أكبر.



مهمّ

نمط التدرج في النشاط الكيميائي للهالوجينوألكانات موضح أدناه:

الفلوروألكان	الأقل نشاطًا
الكلوروألكان	↓
البروموألكان	↓
اليودوألكان	الأكثر نشاطًا

مهارات عمليّة ٩-٣

استقصاء النشاط الكيميائي للهالوجينوألكانات باستخدام محلول نترات الفضة المائي

يمكن إظهار الفرق في النشاط الكيميائي بين الهالوجينوألكانات باستخدام محلول نترات الفضة المائي من خلال مراقبة كل تفاعل، وتحديد المدة الزمنية التي تستغرقها كل أنبوبة اختبار لتصبح معتمة مع تكوّن راسب هاليد الفضة.

احتياطات الأمان والسلامة

يتم تنفيذ هذا النشاط فقط بحضور المعلم بعد شرح احتياطات الأمان والسلامة.

- الإيثانول قابل للاشتعال ويجب إبعاده عن أي لهب.
- الهالوجينوألكانات قابلة للاشتعال وضارة.
- نترات الفضة مادة مهيجة وضارة ويمكن أن تسبب أيضًا تغيرًا في لون الجلد.

ستحتاج إلى

المواد والأدوات:

- كأس زجاجية سعة 250 mL
- ميزان حرارة (10– إلى 110°C)
- أنابيب اختبار عدد 6 وسدادات عدد 3
- ماصة قطارة عدد 3
- قلم حبر تحديد دائم
- ثلاث ساعات إيقاف (stopwatches)
- مخبار مدرج 10 mL عدد 2
- رف حامل لأنابيب الاختبار
- ساق تقليب (تحريك) زجاجية أو بلاستيكية
- إيثانول
- محلول نترات الفضة المائي تركيزه 0.100 mol/L
- 1 – كلوروبيوتان
- 1 – بروموبيوتان
- 1 – يودوبيوتان
- ماء مغلي (الأفضل إبريق لتسخين الماء)

الطريقة:

١. ضع ملصقًا على 3 أنابيب اختبار مع العناوين أ و ب و ج (أ يحتوي على 1 – كلوروبيوتان، و ب يحتوي على 1–بروموبيوتان وج يحتوي على 1 – يودوبيوتان).

٢. أضف 2 mL من الإيثانول في كل من أنابيب الاختبار الثلاث وأغلقها بالسدادات.

٣. باستخدام قلم حبر التحديد الدائم ارسم تقاطعًا على كل أنبوبة اختبار بحيث يمكن رؤيته بوضوح من خلال الإيثانول.

٤. أضف خمس قطرات من كل من الهالوجينوألكانات الثلاثة إلى أنابيب الاختبار التي تحتوي الإيثانول وفقًا للعناوين المحددة أعلاه وأعد إغلاقها بالسدادات.

تابع

٥. أضف 2 mL من محلول نترات الفضة المائي إلى الأنابيب الثلاثة الأخرى (تمهيدًا لإضافتها في الخطوة ٨).

٦. املأ الكأس الزجاجية سعة 250 mL بالماء المغلي، ثم أضف الماء البارد بحيث تكون درجة الحرارة نحو 50-55 °C.

٧. ضع أنابيب الاختبار الستة جميعها في الكأس الزجاجية واتركها لمدة خمس دقائق تقريبًا بحيث تكون جميعها عند درجة حرارة الماء نفسها الموجودة في الكأس.

٨. اسكب محلول نترات الفضة بسرعة في أنابيب الاختبار أ و ب و ج وشغّل ساعات الإيقاف.

٩. حدد المدة الزمنية التي يستغرقها اختفاء التقاطع في أنابيب الاختبار أ و ب و ج.

حدد الهالوجينوألكان الذي يتفاعل بشكل أسرع وذاك الذي يتفاعل بشكل أبطأ.

سؤال

١٠ أ. ما المقصود بالنيوكليوفيل؟

ب. لماذا يكون تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي للهالوجينوألكان مع أيونات الهيدروكسيد أسرع من التفاعل مع جزيئات الماء؟

ج. ١. اكتب المعادلة الأيونية لتفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لـ 1 – كلوروبروبان مع أيونات الهيدروكسيد.

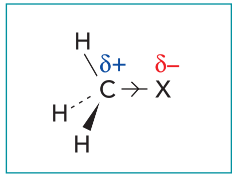
٢. يتفاعل كل من 1 – كلوروبروبان و 1 – بروموبروبان مع أيون الهيدروكسيد. أي منهما هو الأنشط كيميائيًا في هذا التفاعل؟ اشرح إجابتك.

د. اشرح كيف يمكن استخدام محلول نترات الفضة المائي لاستقصاء معدل سرعة التحلل المائي للهالوجينوألكانات. ضمن شرحك المعادلات الأيونية لتكوّن المواد المترسبة.

آلية حدوث تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي في الهالوجينوألكانات

تُعدّ الهالوجينوألكانات أكثر نشاطًا كيميائيًا من الألكانات بسبب قطبية الرابطة التساهمية بين ذرتَي الكربون والهالوجين، بينما الروابط التي توجد في جزيئات الألكان غير قطبية. وكنتيجة لذلك، فإن الكثير من تفاعلات الهالوجينوألكانات هي تفاعلات استبدال نيوكليوفيلي. ففي هذه التفاعلات، يهاجم النيوكليوفيل ذرة الكربون المرتبطة بالهالوجين.

تُعدّ الرابطة كربون–هالوجين مستقطبة لأن ذرة الهالوجين أكثر سالبية كهربائية من ذرة الكربون. لذا، يجذب الهالوجين زوج إلكترونات الرابطة نحوه بعيدًا عن ذرة الكربون؛ فتحمل ذرة الكربون شحنة جزئية موجبة كما هو موضح في الشكل (٩–١٢).



الشكل ٩–١٢ الرابطة كربون–هالوجين قطبية (مستقطبة).

ويتم توضيح آلية حدوث تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي من خلال تفاعل البرومو إيثان مع أيون الهيدروكسيد (الشكل ٩–١٣).

$$H-CH_2-\overset{\delta+}{C}H_2-\overset{\delta-}{Br} + :OH^- \rightarrow H-CH_2-CH_2-OH + :Br^-$$

الشكل ٩-١٣ آلية حدوث تفاعل استبدال نيوكليوفيلي للبرومو إيثان بأيون الهيدروكسيد.

ويمكن شرح تسلسل آلية حدوث التفاعل في الشكل (٩-١٤) على النحو الآتي:

١. يُعدّ البروم أكثر سالبية كهربائية من الكربون، وهذا ما يجعل الرابطة C–Br قطبية، ويكون لدى ذرة الكربون نقص في الإلكترونات (+δ).
٢. ينجذب أيون الهيدروكسيد السالب نحو ذرة الكربون التي لديها نقص في الإلكترونات.
٣. يسلك أيون الهيدروكسيد كنيوكليوفيل عن طريق منحه زوجًا منفردًا من الإلكترونات إلى ذرة الكربون، ويتم تمثيل ذلك باستخدام سهم منحن.
٤. في الوقت نفسه، تتكسر الرابطة الموجودة بين (C) و (Br) بشكل غير متجانس، ويتم توضيح ذلك مرة أخرى بسهم منحن. فيتحرك زوج إلكترونات الرابطة نحو ذرة البروم التي تتحول إلى أيون بروميد (Br^-).
٥. تتكوّن رابطة بين ذرة الكربون و(OH) فينتج جزيء الإيثانول.

وعندما يكون الماء هو النيوكليوفيل، تكون آلية حدوث التفاعل مشابهة لما سبق، ولكن بشكل مختلف قليلًا كما هو موضح في الشكل (٩-١٤).

الشكل ٩-١٤ آلية حدوث تفاعل استبدال نيوكليوفيلي للبرومو إيثان بوساطة جزيء ماء.

مثل أيون الهيدروكسيد، ينجذب جزيء الماء إلى ذرة الكربون التي لديها نقص في الإلكترونات، ويمنحها زوجًا من الإلكترونات، في حين تتكسر الرابطة C–Br وتطلق أيون بروميد. وعلى عكس الآلية الموضحة في الشكل (٩-١٤)، يتكوّن جسيم وسيط يحمل شحنة موجبة. ولكي يصبح الوسيط مستقرًا ويكوّن الكحولات، يجب أن تفقد ذرة الأكسجين ذات الشحنة الموجبة إحدى ذرتَي الهيدروجين المرتبطَتين بها كأيون (H^+). ينجذب جزيء ماء آخر إلى الوسيط ويزيل الهيدروجين، مكونًا (H_3O^+) . فيؤدي ذلك إلى كسر رابطة O–H بشكل غير متجانس، ويتحرك زوج الإلكترونات نحو ذرة (O)، مكوّنًا جزيء إيثانول متعادلًا. ولأن الخطوة الإضافية هذه الموجودة في آلية حدوث التفاعل تتطلب كسر رابطة أخرى، فإنها تساعد أيضًا في شرح سبب كون تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي بالماء عملية أبطأ بكثير من تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي بأيونات الهيدروكسيد.

مثال

٣. ارسم آلية حدوث تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي للكلورو ميثان بأيون الهيدروكسيد.

الحلّ:

الخطوة ١: ارسم الصيغة الموسعة للكلورو ميثان.

اجعل الروابط طويلة بما يكفي لترسم عليها بشكل واضح لاحقًا.

H
H—C—Cl
H

الخطوة ٢: أضف رموز ثنائي القطب إلى الرابطة C–Cl.
ولأن الكلور أكثر سالبية كهربائية من الكربون، يكون (C δ+) و (Cl δ–).

H
H—C(δ+)—Cl(δ–)
H

الخطوة ٣: أضف الأيون (OH^-) إلى المخطط، وتذكّر أن تُضمنه زوجًا منفردًا من الإلكترونات على ذرة (O).

ارسم الأيون (OH^-) بالقرب من الكلورو ميثان، ولكن بعيدًا بما يكفي لتكون قادرًا على رسم قوس السهم المنحني بسهولة في اتجاه الذرة (C δ+).

H
H—C(δ+)—Cl(δ–)
H
:OH^-

الخطوة ٤: أضف الأسهم المنحنية إلى المخطط كما يأتي:

- من زوج الإلكترونات المنفرد الموجود على الأيون (OH^-) إلى ذرة (C δ+).
- من منتصف الرابطة C–Cl إلى ذرة (Cl).



تذكّر أن اتجاه السهم المنحني يكون دائمًا من زوج الإلكترونات نحو ذرة. ويمكن أن يكون زوج الإلكترونات إما زوجًا منفردًا موجودًا على ذرة أو ضمن رابطة.

الخطوة ٥: أكمل آلية حدوث التفاعل برسم المادتَين الناتجتَين: الميثانول، وأيون (Cl^-).

يجب أن يحتوي أيون الكلوريد زوجًا منفردًا من الإلكترونات وقد اكتسبه من كسر الرابطة C–Cl في الخطوة السابقة.

H—C(δ+)(H)(H)—Cl(δ–) + :OH^- ⟶ H—C(H)(H)—OH + :Cl^-

سؤال

١١ أ. وضّح آلية حدوث تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لـ 1 – كلوروبروبان، ($CH_3CH_2CH_2Cl$) بوساطة مادة قلوية وضمّنها الأسهم المنحنية المناسبة.

ب. وضّح آلية حدوث تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لـ 1 – كلوروبروبان بوساطة الماء.

ج. استخدم آليتَي حدوث التفاعل من الجزئيتَين أ و ب، لشرح السبب الذي يجعل تفاعل الاستبدال النيوكليوفيلي لـ 1 – كلوروبروبان مع أيونات الهيدروكسيد أسرع من تفاعله مع جزيئات الماء.

تفاعلات الإزالة (الحذف)

تخضع الهالوجينوألكانات إلى تفاعلات الإزالة. ويتضمن تفاعل الإزالة فقدان جزيء صغير من الجزيء العضوي الأصلي. ففي حالة الهالوجينوألكانات، يكون هذا الجزيء الصغير هو هاليد الهيدروجين مثل (HCl) أو (HBr).

والمادة المتفاعلة المستخدمة في تفاعلات الإزالة هي محلول هيدروكسيد الصوديوم الذائب في الإيثانول، والذي يتم تسخينه مع الهالوجينوألكان، فيحدث التفاعل وفق المعادلة الآتية:

$$\underset{\text{بروموإيثان}}{CH_3CH_2Br} + NaOH\ (ethanol) \xrightarrow{\text{تسخين}} \underset{\text{إيثين}}{CH_2{=}CH_2} + H_2O + NaBr$$

لقد فقد جزيء البروموإيثان ذرة (H) وذرة (Br). أي تمّت إزالة هاليد الهيدروجين (HBr) من الهالوجينوألكان. يوضح الشكل (٩–١٥) آلية إزالة (HBr)، حيث هناك عمليتان رئيسيتان:

- يعمل أيون (OH^-) كقاعدة. يستقبل أيون الهيدروجين (H^+) من البروموإيثان ويكوّن (H_2O).
- تتكسر الرابطة القطبية C–Br بشكل غير متجانس لتكوين الأيون (Br^-) والإيثين.

الشكل ٩–١٥ آلية تفاعل الإزالة.

مهمّ

إذا استخدمنا (NaOH) (ethanol) (أي NaOH ذائبًا في الإيثانول)، يحدث تفاعل إزالة، ويكون الألكين إحدى المواد الناتجة من هذا التفاعل.

ولكن إذا استخدمنا (NaOH(aq)) (أي NaOH ذائبًا في الماء)، يحدث تفاعل استبدال نيوكليوفيلي، ويكون الكحول إحدى المواد الناتجة من هذا التفاعل.

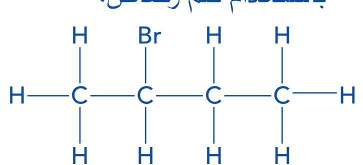
من المهم مراعاة الظروف المستخدمة في التفاعلات العضوية.

مثال

٤. عند تسخين 2 ـ برومو بيوتان مع هيدروكسيد الصوديوم الذائب في الإيثانول، تتم إزالة (HBr).
ارسم الصيغ الموسعة للمركبات العضوية جميعها التي يمكن أن تتكوّن من هذا التفاعل.

الحلّ:

الخطوة ١: ارسم الصيغة الموسعة لـ 2 – بروموبيوتان باستخدام قلم رصاص.



تابع

الخطوة ٢: في تفاعل الإزالة، سيفقد البروموألكان الصيغة (HBr)، وينتج من ذلك تكوّن ألكين.

ارسم دائرة حول ذرة (Br) وذرة (H) مجاورة لها في الصيغة الموسعة التي رسمتها.

```
    H   Br   H    H
    |   |    |    |
H — C — C —  C —  C — H
    |   |    |    |
    H   H    H    H
```

يُوضح هذا المخطط أنه قد تمّ اختيار ذرة (H) مرتبطة بذرة الكربون الأولى وذرة البروم (المرتبطة بذرة الكربون الثانية).

الخطوة ٣: أزل الذرتَين (H) و (Br) في شكل صيغة (HBr) واللتَين رسمت دائرة حولهما مع رابطتَيهما.

استبدلهما برابطة ثنائية بين ذرتَي الكربون كما هو موضح في الصيغة الموسعة الآتية:

```
             H    H
             |    |
H — C == C — C —  C — H
    |    |   |    |
    H    H   H    H
```

1–بيوتين

الخطوة ٤: كرر هذه العملية مع ذرة (Br) وذرة (H) مجاورة مرتبطة بذرة الكربون الأخرى كما هو موضح في الصيغة الموسعة الآتية:

```
    H   Br   H    H
    |   |    |    |
H — C — C —  C —  C — H
    |   |    |    |
    H   H    H    H
```

يُوضح هذا المخطط بأنه قد تمّ اختيار ذرة (H) مرتبطة بذرة الكربون الثالثة وذرة البروم المرتبطة بذرة الكربون الثانية.

```
    H              H
    |              |
H — C — C == C  —  C — H
    |   |    |     |
    H   H    H     H
```

سيس – 2 – بيوتين

الخطوة ٥: لا تنسَ أنه مع الألكينات يكون التصاوغ الفراغي الهندسي (سيس/ترانس) ممكنًا. وفي هذه الحالة، فإن هذا ممكن مع 2 – بيوتين، وغير ممكن مع 1 – بيوتين.

```
    H        H     H
    |        |     |
H — C — C == C  —  C — H
    |   |          |
    H   H          H
```

ترانس – 2 – بيوتين

ملاحظة: لا توجد، في هذا المثال، ألكينات أخرى يمكن أن تتكوّن عن طريق إزالة (HBr) لأنّ:

- ذرات (H) على ذرة الكربون الرابعة ليست متجاورة مع ذرة (Br)، وبالتالي فإنه لا يمكن إزالتها لأن لا يمكن تشكيل رابطة ثنائية.
- لا يمكن إزالة ذرة (H) المرتبطة بذرة الكربون نفسها التي ترتبط بها ذرة (Br)؛ لأنّ الرابطة الثنائية يمكن أن تتكوّن فقط بين ذرتَي كربون متجاورتَين وتقع إحداهما بجانب الأخرى.

سؤال

(١٢) **أ.** اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعل 2–برومو بروبان مع هيدروكسيد الصوديوم الذائب في الإيثانول.

ب. سمِّ المادة العضوية الناتجة من هذا التفاعل.

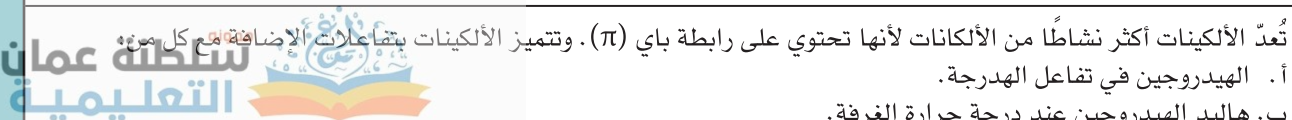
ج. ارسم الصيغة الموسعة للمواد العضوية الناتجة من تفاعل الإزالة في 2–كلوروبنتان.

ملخّص

الألكانات غير نشطة كيميائيًا نسبيًا لأنها غير قطبية.

تُستخدم الألكانات بشكل واسع كوقود. وعندما تحترق بشكل كامل فإنها تُنتج ثاني أكسيد الكربون والماء. ومع ذلك، تُنتج الألكانات غاز أحادي أكسيد الكربون السام عندما تحترق بوجود كمية محدودة من غاز الأكسجين، وأكاسيد النيتروجين التي تسبب المطر الحمضي، والهيدروكربونات غير المحترقة التي تتسبب في ظاهرة الضباب الدخاني.

يمكن استبدال ذرات الهيدروجين الموجودة في الألكانات بذرات كلور أو بروم بوجود الأشعة فوق البنفسجية (UV)، فينتج من ذلك هالوجينوألكانات. وهذه آلية تفاعل استبدال بالجذر الحر.



تُعدّ الألكينات أكثر نشاطًا من الألكانات لأنها تحتوي على رابطة باي (π). وتتميز الألكينات بتفاعلات الإضافة مع كل من:

أ. الهيدروجين في تفاعل الهدرجة.

ب. هاليد الهيدروجين عند درجة حرارة الغرفة.

ج. بخار الماء في وجود العامل الحفّاز H_3PO_4

د. الهالوجين X_2 عند درجة حرارة الغرفة.

تسمّى آلية حدوث تفاعل هذه الجزيئات مع الألكينات تفاعل إضافة إلكتروفيلي. حيث يكسب الإلكتروفيل زوجًا من الإلكترونات من جسيم غني بالإلكترونات، وهو الرابطة باي (π) في هذه الحالة، فيتكون كاتيون كربوني وسيط بعد إضافة ذرة الهيدروجين من هاليد الهيدوجين إلى الألكين. يتفاعل هذا الكاتيون الكربوني بسرعة مع أيون الهاليد لتكوين هالجينو ألكان.

ينتج من الأكسدة البسيطة للألكينات بوساطة محلول مخفف وبارد من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي تكوّن مركب يسمى دايول (ثنائي كحول). أما المحلول المركّز والساخن من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي فيكسر الرابطة C=C.

يمكن اختبار الألكين بإحدى الطريقتين الآتيتين:

- استخدام محلول منجنات (VII) البوتاسيوم، والذي سيتغير لونه من الأرجواني إلى عديم اللون.
- استخدام ماء البروم، والذي سيتغير لونه من البرتقالي إلى عديم اللون.

إذا تمّ استبدال ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر في جزي الألكان بذرة هالوجين (X) أو أكثر، يسمى المركب الناتج هالوجينوألكان.

يمكن أن تمتلك الهالوجينوألكانات تراكيب بنائية أولية، حيث ترتبط مجموعة ألكيل واحدة بذرة الكربون في C–X، أو تراكيب بنائية ثانوية ترتبط فيها مجموعتا ألكيل بذرة الكربون في C–X، أو تراكيب ثالثية (ترتبط فيها ثلاث مجموعات ألكيل بذرة الكربون في C–X.

يمكن تحضير الهالوجينوألكانات باستخدام: الألكانات مع الهالوجينات عن طريق تفاعل الاستبدال بالجذر الحر؛ أو الألكينات مع الهالوجينات أو الألكينات مع هاليدات الهيدروجين عن طريق تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية؛ كما يمكن تحضيرها عن طريق تفاعل الكحول مع كل من: HX أو مع KBr وH_2SO_4 أو PCl_5 أو $SOCl_2$.

تُعدّ اليودو ألكانات أكثر الهالوجينوألكانات نشاطًا كيميائيًا، في حين تُعدّ الفلوروألكانات أقلها نشاطًا. ويتم شرح ذلك باستخدام نمط التدرج في قوة الرابطة C–X. فالرابطة C–F هي الأقوى والرابطة C–I هي الأضعف. لذا، فإن كسر الرابطة C–I هو الأسهل أثناء حدوث تفاعلات اليودو ألكانات.

يمكن مقارنة نشاط الهالوجينوألكانات المختلفة عن طريق تفاعلاتها مع محلول نترات الفضة المائي، وتحديد الفترة الزمنية التي يستغرقها راسب هاليد الفضة لكي يتكوّن.

تتعرض الهالوجينوألكانات للهجوم من قبل النيوكليوفيلات. ويحدث هذا لأن ذرة الكربون المرتبطة بذرة الهالوجين تحمل شحنة جزئية موجبة ($\delta+$)، وذلك بسبب السالبية الكهربائية المرتفعة للهالوجين. لذا يمكن أن تخضع الهالوجينوألكانات لتفاعل استبدال نيوكليوفيلي.

من الأمثلة على نيوكليوفيلات مناسبة: محاليل قلوية مائية $OH^-(aq)$، والماء (H_2O).

يسمى التفاعل مع أيونات OH^- المائية (أو مع الماء) التحلل المائي، وينتج منه كحول كمادة عضوية، وأيون هاليد.

تخضع الهالوجينوألكانات أيضًا لتفاعلات الحذف عند تسخينها مع هيدروكسيد الصوديوم الذائب في الإيثانول، فينتج من ذلك ألكينات كمادة عضوية.

أسئلة نهاية الوحدة

١ أ. الألكانات عبارة عن هيدروكربونات مشبعة. اشرح المقصود بـ: الهيدروكربونات المشبعة.

ب. تكون الألكانات غير نشطة بشكل عام. اشرح سبب ذلك.

ج. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للاحتراق غير الكامل لكل من:

١. البيوتان

٢. الهبتان

د. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة للاحتراق الكامل لكل من:

١. البنتان

٢. النونان

هـ. ١. صف كيف تتكوّن أكاسيد النيتروجين في محركات المركبات، واذكر إحدى المشكلات البيئية الناجمة عنها.

٢. اشرح كيف تتم إزالة أكاسيد النيتروجين من الغازات المنبعثة في عوادم محركات المركبات، مع توضيح ذلك بمعادلة كيميائية.

٢ استخدم النص أدناه ومعارفك السابقة للإجابة عن الأسئلة التي تليه.

يتفاعل الميثان مع البروم لإنتاج البروموميثان وبروميد الهيدروجين. وتتضمن آلية حدوث هذا التفاعل انشطارًا متجانسًا لروابط كيميائية. ويتم التفاعل عبر خطوات الابتداء والانتشار والإيقاف.

أ. سمِّ آلية حدوث التفاعل التي تصف تفاعل البروم مع الميثان.

ب. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة لهذا التفاعل.

ج. تتكسر بعض الروابط بشكل متجانس في هذا التفاعل. صف هذا النوع من الانشطار.

د. اشرح الظروف الأساسية اللازمة لحدوث هذا التفاعل.

هـ. بالنسبة إلى هذا التفاعل، اكتب معادلة كيميائية لـ:

١. خطوة ابتداء.

٢. خطوة انتشار.

٣. خطوة إيقاف.

٣ استخدم النص أدناه ومعارفك السابقة للإجابة عن الأسئلة التي تليه.

يتفاعل الإيثين مع البروم لتكوين 1،2 – ثنائي بروموإيثان كمادة ناتجة وحيدة. وتتضمن آلية حدوث هذا التفاعل انشطارًا غير متجانس لروابط كيميائية.

أ. سمِّ آلية حدوث التفاعل التي تصف تفاعل البروم مع الإيثين.

ب. اكتب المعادلة الكيميائية الرمزية الموزونة لهذا التفاعل.

ج. تتكسر الروابط بشكل غير متجانس في هذا التفاعل. صف هذا النوع من الانشطار.

د. وضح آلية حدوث هذا التفاعل مع تضمين الأسهم المنحنية.

هـ. أي مادة، الإيثين أو البروم، تسلك كإلكتروفيل في هذا التفاعل؟ اشرح إجابتك.

تابع

٤ **أ.** يخضع 2 – بنتين إلى تفاعلات إضافة إلكتروفيلية. ولأنه ألكين غير متماثل، فإنه يكوّن غالبًا مادتَين ناتجتَين في تفاعلاته.

١. ارسم الصيغتَين الموسعتَين المحتملتَين للمادتَين الناتجتَين من إضافة (HBr) إلى 2 – بنتين.

٢. اشرح سبب تكوّن إحدى المادتَين الناتجتَين بكمية أكبر من المادة الأخرى.

ب. اذكر المواد المتفاعلة والظروف المستخدمة لاختزال 2 – بنتين إلى بنتان.

ج. يتفاعل 2 – بنتين مع محلول مخفف وبارد من منجنات (VII) البوتاسيوم في وسط حمضي.

١. ارسم الصيغة الموسعة للمادة الناتجة وسمّها.

٢. اذكر المواد المتفاعلة والظروف المستخدمة لتحضير 2 – بنتانول من 2 – بنتين.

٥ **أ.** ما نوع التفاعل الذي يحدث عند تسخين الكلوروإيثان مع محلول هيدروكسيد الصوديوم الذائب في الإيثانول؟

أ. الإضافة ب. الإزالة (الحذف)

ج. التحلل المائي د. الاستبدال

ب. أي المركبات الآتية هو هالوجينوألكان ثالثي؟

أ. $CHBr_3$ ب. $CH_3CH_2CH_2Br$

ج. $(CH_3)_2CHCHBrCH_3$ د. $(CH_3)_2CBrCH_2CH_3$

ج. أيّ المواد الآتية تُعدّ مناسبة لإنتاج برومو ألكان من كحول؟

أ. (Br_2) بوجود أشعة UV ب. (KBr) و (H_2SO_4)

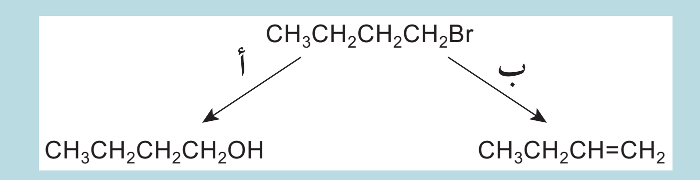
ج. (NaOH) المائي د. (NaOH) في الإيثانول

د. أيّ من الهالوجينوألكانات الآتية سيتفاعل بشكل أبطأ مع محلول نترات الفضة المائي؟

أ. البروموإيثان ب. الكلوروإيثان

ج. الفلوروإيثان د. اليودوإيثان

٦ يتعرض مركب 1 – بروموبيوتان إلى تفاعلات عند تسخينه، كما هو موضح في التفاعلَين أ و ب في المخطط الآتي:



تابع

أ. بالنسبة إلى التفاعلَين أ و ب، حدد المواد المتفاعلة المستخدمة في كل منهما.

ب. تمّ إجراء التفاعل أ باستخدام 1 - يودوبيوتان عوضًا عن 1 - بروموبيوتان. اشرح الاختلاف في معدل سرعة التفاعل.

ج. سمِّ نوع التفاعل العضوي الموضح في أ.

د. ارسم آلية حدوث التفاعل أ.

هـ. سمِّ نوع التفاعل الموضح في ب.



و. إذا تمّ إجراء التفاعل ب مع 2 - بروموبيوتان، فاستنتج المواد العضوية الأخرى التي يمكن أن تتكوّن إضافة إلى المادة الناتجة الموضحة أعلاه.

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة هذه الوَحدة، أكمل الجدول كالآتي.

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أشرح النشاط الكيميائي الضعيف للألكانات من حيث القطبية، وأصف عمليات احتراقها الكامل وغير الكامل.	٩-١			
أصف الآثار البيئية الناتجة عن حرق الوقود الهيدروكربوني في المركبات، وأشرح عملية إزالة الملوّثات بوساطة المحولات المحفّزة.	٩-١			
أشرح تفاعل الاستبدال بالجذر الحر (الاستبدال الجذري) في الألكانات مع الكلور والبروم، كما هو موضح في آلية حدوث التفاعل.	٩-١			
أصف تفاعلات الألكينات كما هو موضح في تفاعلات الإضافة، مع الهيدروجين و هاليدات الهيدوجين والماء (بخار الماء) والهالوجينات.	٩-٢			
أشرح آلية حدوث تفاعل الإضافة الإلكتروفيلية في الألكينات، وأشرح تأثير مجموعات الألكيل على استقرار الكاتيونات الوسيطة التي تتكوّن.	٩-٢			
أصف تفاعل أكسدة الألكينات مع محلول من برمنجنات البوتاسيوم المخفف في وسط حمضي لتكوين دايول (كحول ثنائي).	٩-٢			

قائمة تقييم ذاتي

بعد دراسة هذه الوَحدة، أكمل الجدول كالآتي.

أستطيع أن	أراجع الموضوع	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	متمكّن إلى حدّ ما	مستعدّ للمضي قدمًا
أتعرف على الهالوجينوألكانات المختلفة من تراكيبها البنائية، وأصنّفها.	٩–٣			
أكتب معادلات للتفاعلات الرئيسية التي يمكن أن تنتج هالوجينوألكانات من الألكانات والألكينات والكحولات، وتضمينها المواد الكيميائية المتفاعلة والظروف المستخدمة.	٩–٣			
أكتب معادلات لتفاعلات الهالوجينوألكانات عندما تتعرض لتفاعل إزالة هاليد الهيدروجين بوساطة هيدروكسيد الصوديوم الذائب في الإيثانول.	٩–٣			
أصف استخدام محلول نترات الفضة المائي مع الإيثانول كطريقة لتحديد الهالوجين الموجود في الهالوجينوألكان.	٩–٣			
أصف معادلات تفاعلات الهالوجينوألكانات وأشرح آليات حدوثها، عندما تتعرض لتفاعل استبدال نيوكليوفيلي، مع محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي أو مع الماء.	٩–٣			
أفهم الملاحظات التي تُظهر اختلاف النشاط الكيميائي للهالوجينوألكانات مع اختلاف ذرة الهالوجين فيها، لتفسير نتائج التجارب المتعلقة باستخدام محلول نترات الفضة.	٩–٣			

مصطلحات علمية

أفعال إجرائية

ارسم: أنشئ رسمًا بسيطًا يوضح الميزات الرئيسية.

مصطلحات علمية

إزالة الماء Dehydration: هي عملية إزالة (نزع) جزيء ماء من جزيء مادة متفاعلة.

استبدال بالجذر الحر Free-radical substitution: هو التفاعل الذي تحل فيه ذرات هالوجين محل ذرات هيدروجين في جزيئات هيدروكربونية.

استبدال نيوكليوفيلي Nucleophilic substitution: آلية حدوث تفاعل عضوي يهاجم فيه النيوكليوفيل ذرة الكربون التي تحمل شحنة جزئية موجبة $(\delta+)$. فينتج منه استبدال الذرة التي تحمل شحنة جزئية سالبة $(\delta-)$ بوساطة النيوكليوفيل.

الإضافة الإلكتروفيلية Elecrtophilic addition: التفاعل الذي ينجذب خلاله إلكتروفيل إلى الرابطة الثنائية لألكين وتتم إضافته إلى هذه الرابطة، التي تتكسر بشكل غير متجانس ليتكوّن كاتيون كربوني يرتبط مع الأيون السالب.

الألكانات Alkanes: هيدروكربونات مشبعة تمتلك الصيغة العامة C_nH_{2n+2}.

الإلكتروفيل (المحب للإلكترونات) Electrophile: جسيم (ذرة أو جزيء أو أيون) يمكنه أن يسلك كمستقبِل لزوج من الإلكترونات.

الألكينات Alkenes: هيدروكربونات غير مشبعة تمتلك الرابطة الثنائية C=C والصيغة العامة C_nH_{2n}.

آلية حدوث التفاعل Reaction mechanism: سلسلة من الخطوات التي تصف ما يحدث في سياق التفاعل الكلي.

الأيون الكربوني الموجب Carbocation: مجموعة ألكيل تحمل شحنة موجبة واحدة على إحدى ذرات الكربون فيها، مثل CH_3^+.

التأثير الحثي Inductive effect: التشارك غير المتكافئ للإلكترونات على طول رابطة تساهمية ما. فيقال إن الجسيمات المانحة للإلكترونات، كمجموعة ألكيل مثلًا، تمتلك تأثيرًا حثيًا موجبًا، في حين أن الجسيمات الجاذبة للإلكترونات، كذرة الأكسجين أو الكلور مثلًا، تمتلك تأثيرًا حثيًا سالبًا.

التحلل المائي Hydrolysis: هو تفاعل جزيء عضوي مع الماء، ويؤدي عادة إلى حدوث استبدال أو حذف.

التشاكل الهندسي (سيس- ترانس) (geometric) *Cis/trans* isomerism: نجده في مركبات غير مشبعة أو حلقية تمتلك الصيغة الجزيئية نفسها والترتيب نفسه للذرات، ولكن أشكالها الهندسية تكون مختلفة.

التغير في المحتوى الحراري Enthalpy change, ΔH: الطاقة الحرارية المتبادلة مع المحيط أثناء حدوث تفاعل كيميائي عند ضغط ثابت.

التغير في المحتوى الحراري القياسي للاحتراق، Standard enthalpy change of combustion $(\Delta H_c^\ominus)$: كمية الحرارة المنطلقة عند احتراق مول واحد من مادة ما في الظروف القياسية.

التغير في المحتوى الحراري القياسي للتعادل، Standard enthalpy change of neutalisation $(\Delta H_{neut}^\ominus)$: كمية الحرارة المنطلقة عند إنتاج مول واحد من الماء من تفاعل حمض مع مادة قلوية في الظروف القياسية.

التغير في المحتوى الحراري القياسي للتفاعل، Standard enthalpy change of reaction $(\Delta H_{rxn}^\ominus)$: هو التغير في المحتوى الحراري عندما تتفاعل كميات المواد المتفاعلة وفقًا للتناسب الكيميائي الموضح في المعادلة الكيميائية لتكوين المواد الناتجة في الظروف القياسية.

التغير في المحتوى الحراري القياسي للتكوين، Standard enthalpy change of formation $(\Delta H_f^\ominus)$: هو التغير في المحتوى الحراري عندما يتكوّن مول واحد من مركب من عناصره الأولية في الظروف القياسية.

تفاعل الاختزال Reduction reaction: تفاعل يتم خلاله إزالة أكسجين أو إضافة إلكترونات أو نقصان عدد التأكسد لمادة ما.

تفاعل الاستبدال (الإحلال) Substitution reaction: تفاعل يتضمن استبدال ذرة أو مجموعة ذرات بأخرى تحل محلها في جزيء ما.

تفاعل الإضافة Addition reaction: تفاعل عضوي يندمج فيه جزيئان أو أكثر لتكوين جزيء ناتج واحد.

تفاعل الأكسدة Oxidation reaction: تفاعل يتم خلاله إضافة أكسجين أو إزالة إلكترونات أو ازدياد عدد التأكسد لمادة ما.

تفاعل الحذف Elimination reaction: تفاعل تتم فيه إزالة (نزع) جزيء صغير، مثل (H_2O) أو (HX)، من جزيء عضوي (حيث إن X تمثل ذرة هالوجين).

التفاعل الطارد للحرارة Exothermic reaction: تفاعل تنطلق منه طاقة حرارية أثناء حدوثه. وتكون قيمة ΔH سالبة.

التفاعل الماص للحرارة Endothermic reaction: تفاعل يتم فيه امتصاص طاقة حرارية أثناء حدوثه. وتكون قيمة ΔH موجبة.

التكسير Cracking: عملية يتم فيها تكسير جزيئات الهيدروكربونات الكبيرة الأقل فائدة إلى جزيئات أصغر ذات فائدة أكبر في مصفاة تكرير النفط.

التميّه Hydration: عملية تحدث عند إحاطة الأيونات بجزيئات الماء.

الجذر الحرّ Free radical: جسيم يحتوي على إلكترون واحد غير مرتبط.

خطوة الابتداء Initiation step: تكوين الجذور الحرة من خلال الانشطار المتجانس.

خطوة الانتشار Propagation step: إنتاج مزيد من الجذور الحرة من خلال تفاعل تفاعل الجذور الحرة مع جزيئات أخرى.

خطوة الإيقاف (الانتهاء) Termination step: تفاعل الجذور الحرة واندماجها فيما بينها لتكوين جزيء.

الدورية Periodicity: هي تكرّر تدرّج الأنماط في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر عبر الدورات في الجدول الدوري.

السعة الحرارية النوعية (c) Specific heat capacity: هي كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من مادة ما بمقدار 1 °C.

السلاسل المتجانسة Homologous series: هي مجموعة من المركبات العضوية التي تمتلك المجموعة الوظيفية والصيغة العامة نفسَيها، وتمتلك خصائص كيميائية متشابهة.

سهم منحن Curly arrow: يمثل حركة انتقال زوج من الإلكترونات في آلية حدوث التفاعل؛ وهو ينطلق من النيوكليوفيل نحو الإلكتروفيل.

الصيغة البنائية Structural formula: الصيغة التي تبين عدد الذرات ورموزها، وطريقة ارتباطها مع بعض في جزيء عضوي.

الصيغة العامة General furmula: هي صيغة كيميائية تنطبق على جميع مركبات السلسلة المتجانسة ويمكن استخدامها للتنبؤ بالصيغة الجزيئية للمركب.

الصيغة الموسعة Displayed formula: تمثيل ثنائي الأبعاد (2D) لجزيء عضوي، يوضح جميع الذرات (بوساطة الرموز) والروابط (بوساطة خطوط قصيرة أحادية، أو ثنائية، أو ثلاثية بين الرموز).

الصيغة الهيكلية Skeletal formula: صيغة موسعة تمّ فيها إزالة رموز ذرات الكربون (C) والهيدروجين (H) والروابط (C–H) جميعها.

طاقة التنشيط Activation energy, E_a: الحد الأدنى من الطاقة التي يجب أن تمتلكها الجُسيمات المتصادمة لكسر الروابط وبدء حدوث التفاعل الكيميائي.

طاقة الرابطة Bond energy: هي الطاقة اللازمة لكسر رابطة تساهمية معيّنة موجودة في جزيء ما في حالته الغازية، وتسمى أيضًا طاقة تفكك الرابطة أو المحتوى الحراري للرابطة.

الظروف القياسية Standard conditions: ضغط يساوي 100 kPa، ودرجة حرارة تساوي 298 K، وموضحة بالرمز $^\ominus$.

قانون هسّ Hess's law: التغيُّر الكلّي في المُحتوى الحراري لأي تفاعل كيميائي تحت ضغط ثابت يساوي كمية ثابتة سواء تم التفاعل في خطوة واحدة أو أكثر.

كاتيون كربوني أولي Primary carbocation: وسيط هيدروكربوني يحمل شحنة موجبة ويحتوي على مجموعة ألكيل واحدة مرتبطة بذرة الكربون (+C)، وهو أقل أنواع الكاتيونات الكربونية استقرارًا.



كاتيون كربوني ثالثي Tertiary carbocation: وسيط هيدروكربوني يحمل شحنة موجبة ويحتوي على ثلاث مجموعات ألكيل مرتبطة بذرة الكربون (C+)، وهو أكثر أنواع الكاتيونات الكربونية استقرارًا.

كاتيون كربوني ثانوي secondary carbocation: وسيط هيدروكربوني يحمل شحنة موجبة ويحتوي على مجموعتَي ألكيل مرتبطتَين بذرة الكربون (C+).

الكحولات Alcohols: مركبات تمتلك سلسلة هيدروكربونية مرتبطة بالمجموعة الوظيفية OH-.

مادة متذبذبة (مترددة) Amphoteric: مادة يمكن أن تسلك كحمض وقاعدة.

المتشاكلات البنائية Strutural isomers: مركبات تمتلك الصيغة الجزيئية نفسها وتختلف في صيغها البنائية.

المتشاكلات الضوئية Enantiomers: زوج من الجزيئات النشطة ضوئيًا وكل منهما صورة معكوسة للآخر في مرآة، ولا يمكن تركيب أحدهما فوق الآخر.

المتشاكلات الفراغية Stereoisomers: مركبات تمتلك جزيئاتها الذرات نفسها المرتبطة بعضها ببعض، لكنها تختلف في الترتيب الفراغي لذراتها، بحيث لا يمكن تركيب الجزيئات بعضها فوق بعض.

متوسط طاقة الرابطة Average bond energy: هو متوسط قيم الطاقات اللازمة لكسر رابطة تساهمية معيّنة موجودة في مجموعة متنوعة من الجزيئات في الحالة الغازية.

مجموعة الألكيل Alkyl group: هيدروكربون متفرع يأتي مع السلسلة الرئيسية لمركب عضوي وتنقصه ذرة هيدروجين مقارنة بالألكان المطابق له.

المجموعة الوظيفية Functional group: هي ذرة أو مجموعة من الذرات توجد في جزيء عضوي وتحدد الخصائص الكيميائية المميزة له.

مخططات مسار التفاعل Reaction pathway diagrams: مخططات بيانية تُوضح المحتويات الحرارية النسبية للمواد المتفاعلة وللمواد الناتجة والتغير في المحتوى الحراري للتفاعل في هيئة سهم، ويمكن أن تتضمن أيضًا طاقة التنشيط.

المركبات الأليفاتية Aliphatic compounds: مركبات عضوية ذات سلاسل خطية أو متفرعة أو تراكيب حلقية.

المركز الكيرالي (غير متناظر) Chiral center: ذرة كربون مرتبطة بأربع ذرات أو مجموعات ذرية مختلفة. وهذا يسمح بوجود المتشاكلات الضوئية.

نقص في الإلكترونات Electron deficient: الحالة التي يكون فيها مستوى الطاقة الخارجي لجسيم ما (ذرة أو جزيء أو أيون) غير مكتمل بالإلكترونات.

النيوكليوفيل (المحب للنواة) Nucleophile: جسيم (ذرة أو جزيء أو أيون) يمكنه أن يسلك كمانح لزوج من الإلكترونات.

الهالوجينوألكان Halogenoalkane: سلسلة متجانسة تم فيها استبدال ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر في الألكان بذرة هالوجين واحدة أو أكثر.

هالوجينوألكانات Halogenoalkanes: سلسلة متجانسة حيث تم استبدال ذرة هيدروجين واحدة أو أكثر في ألكان بذرة هالوجين واحدة أو أكثر. وتمتلك الهالوجينو ألكانات الأبسط الصيغة العامة $C_nH_{2n+1}X$، والمجموعة الوظيفية C–X (حيث إن X تمثل F أو Cl أو Br أو I).

هالوجينوألكان أولي Primary halogenoalkane: جزيء يحتوي على ذرة كربون مرتبطة بذرة هالوجين واحدة وبمجموعة ألكيل واحدة فقط (أو بذرة كربون أخرى واحدة فقط).

هالوجينوألكان ثالثي Tertiary halogenoalkane: جزيء يحتوي على ذرة كربون مرتبطة بذرة هالوجين واحدة وبثلاث مجموعات ألكيل (أو بثلاث ذرات كربون أخرى).

هالوجينوألكان ثانوي Secondary halogenoalkane: جزيء يحتوي على ذرة كربون مرتبطة بذرة هالوجين واحدة وبمجموعتي ألكيل (أو بذرتي كربون أخريين).

الهدرجة Hyrogenation: تفاعل إضافة الهيدروجين إلى المركبات غير المشبعة.

الهيدروكربون المشبع Saturated hydrocarbon: هو مركب يتكون من الكربون والهيدروجين فقط، وتكون فيه الروابط كربون–كربون جميعها روابط تساهمية أحادية.

الهيدروكربونات غير المشبعة Unsaturated hydrocarbons: مركبات تتكوّن من الهيدروجين والكربون فقط، وتحتوي جزيئاتها على روابط كربون–كربون ثنائية أو ثلاثية.

الجدول الدوري للعناصر

المجموعة

الدورة	I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII
1								1 H هيدروجين hydrogen 1.0										2 He هيليوم helium 4.0
2	3 Li ليثيوم lithium 6.9	4 Be بريليوم beryllium 9.0											5 B بورون boron 10.8	6 C كربون carbon 12.0	7 N نيتروجين nitrogen 14.0	8 O أكسجين oxygen 16.0	9 F فلور fluorine 19.0	10 Ne نيون neon 20.2
3	11 Na صوديوم sodium 23.0	12 Mg ماغنيسيوم magnesium 24.3											13 Al ألومنيوم aluminium 27.0	14 Si سيليكون silicon 28.1	15 P فوسفور phosphorus 31.0	16 S كبريت sulfur 32.1	17 Cl كلور chlorine 35.5	18 Ar أرغون argon 39.9
4	19 K بوتاسيوم potassium 39.1	20 Ca كالسيوم calcium 40.1	21 Sc سكانديوم scandium 45.0	22 Ti تيتانيوم titanium 47.9	23 V فناديوم vanadium 50.9	24 Cr كروم chromium 52.0	25 Mn منغنيز manganese 54.9	26 Fe حديد iron 55.8	27 Co كوبالت cobalt 58.9	28 Ni نيكل nickel 58.7	29 Cu نحاس copper 63.5	30 Zn خارصين zinc 65.4	31 Ga غاليوم gallium 69.7	32 Ge جيرمانيوم germanium 72.6	33 As زرنيخ arsenic 74.9	34 Se سيلينيوم selenium 79.0	35 Br بروم bromine 79.9	36 Kr كريبتون krypton 83.8
5	37 Rb روبيديوم rubidium 85.5	38 Sr سترونشيوم strontium 87.6	39 Y إيتريوم yttrium 88.9	40 Zr زيركونيوم zirconium 91.2	41 Nb نيوبيوم niobium 92.9	42 Mo موليبدنوم molybdenum 95.9	43 Tc تكنيشيوم technetium –	44 Ru روثينيوم ruthenium 101.1	45 Rh روديوم rhodium 102.9	46 Pd بالاديوم palladium 106.4	47 Ag فضة silver 107.9	48 Cd كادميوم cadmium 112.4	49 In إنديوم indium 114.8	50 Sn قصدير tin 118.7	51 Sb أنتيمون antimony 121.8	52 Te تيلوريوم tellurium 127.6	53 I يود iodine 126.9	54 Xe زينون xenon 131.3
6	55 Cs سيزيوم caesium 132.9	56 Ba باريوم barium 137.3	57–71 lanthanoids	72 Hf هافنيوم hafnium 178.5	73 Ta تانتالوم tantalum 180.9	74 W تنغستن tungsten 183.8	75 Re رينيوم rhenium 186.2	76 Os أوزميوم osmium 190.2	77 Ir إريديوم iridium 192.2	78 Pt بلاتين platinum 195.1	79 Au ذهب gold 197.0	80 Hg زئبق mercury 200.6	81 Tl ثاليوم thallium 204.4	82 Pb رصاص lead 207.2	83 Bi بيزموث bismuth 209.0	84 Po بولونيوم polonium –	85 At أستاتين astatine –	86 Rn رادون radon –
7	87 Fr فرانسيوم francium –	88 Ra راديوم radium –	89–103 actinoids	104 Rf رذرفورديوم rutherfordium –	105 Db دوبنيوم dubnium –	106 Sg سيبورجيوم seaborgium –	107 Bh بوريوم bohrium –	108 Hs هاسيوم hassium –	109 Mt متنيريوم meitnerium –	110 Ds دارمستاديوم darmstadtium –	111 Rg رونتجينيوم roentgenium –	112 Cn كوبرنيسيوم copernicium –	113 Nh نيهونيوم nihonium –	114 Fl فليروفيوم flerovium –	115 Mc موسكوفيوم moscovium –	116 Lv ليفرموريوم livermorium –	117 Ts تينيسين tennessine –	118 Og أوغانيسون oganesson –

المفتاح

العدد الذري
الرمز
الاسم
الكتلة الذريّة النسبية

57 La لانثانوم lanthanum 138.9	58 Ce سيريوم cerium 140.1	59 Pr برازيوديميوم praseodymium 140.9	60 Nd نيوديميوم neodymium 144.4	61 Pm بروميثيوم promethium –	62 Sm ساماريوم samarium 150.4	63 Eu أوروبيوم europium 152.0	64 Gd غادولينيوم gadolinium 157.3	65 Tb تيربيوم terbium 158.9	66 Dy ديسبروسيوم dysprosium 162.5	67 Ho هولميوم holmium 164.9	68 Er إيربيوم erbium 167.3	69 Tm ثوليوم thullium 168.9	70 Yb إيتربيوم ytterbium 173.1	71 Lu لوتيشيوم lutetium 175.0
89 Ac أكتينيوم actinium –	90 Th ثوريوم thorium 232.0	91 Pa بروتاكتينيوم protactinium 231.0	92 U يورانيوم uranium 238.0	93 Np نبتونيوم neptunium –	94 Pu بلوتونيوم plutonium –	95 Am أميرسيوم americium –	96 Cm كوريوم curium –	97 Bk بيركيليوم berkelium –	98 Cf كاليفورنيوم californium –	99 Es إينشتاينيوم einsteinium –	100 Fm فيرميوم fermium –	101 Md مانديليفيوم mendelevium –	102 No نوبيليوم nobelium –	103 Lr لاورنسيوم lawrencium –


مدونه
سلطنة عمان
التعليمية


مدونه
سلطنة عمان
التعليمية


مدونة
سلطنة عمان
التعليمية


تم بحمد الله